

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA VÁLVULA DIRECCIONAL TIPO
CARTUCHO CON SOSTENIMIENTO Y FRENADO INCLUIDO PARA EL BANCO
DE LA PLUMA DEL LABORATORIO DE POTENCIA FLUIDA**

DIEGO EULISES PUERTO VARGAS

SERGIO IVAN TOVAR MONTAÑA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2016

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA VÁLVULA DIRECCIONAL TIPO
CARTUCHO CON SOSTENIMIENTO Y FRENADO INCLUIDO PARA EL BANCO
DE LA PLUMA DEL LABORATORIO DE POTENCIA FLUIDA**

DIEGO EULISES PUERTO VARGAS

SERGIO IVAN TOVAR MONTAÑA

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

ABEL PARADA CORRALES

Magister en Ingeniería

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÓNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA SERGIO

A DIOS POR PERMITIRME RECORRER ESTE CAMINO, POR DARMER LA FUERZA,
FE Y ESPERANZA NECESARIA PARA CULMINAR EL PROCESO.

A MI MADRE ISABEL CRISTINA MONTAÑA, QUE SIEMPRE HA ESTADO EN LOS
MOMENTOS CUANDO MAS LA HE NECESITADO, POR SU AMOR INIGUALABLE,
POR ENSEÑARME PRINCIPIOS Y VALORES QUE ME HAN PERMITIDO SER EL
HOMBRE QUE SOY.

A MI PADRE JOSE DE JESUS TOVAR, POR ENSEÑARME A LEVANTARME EN LOS
MOMENTOS DIFICILES, POR SEMBRAR EN MI LA SEMILLA DEL ÉXITO. AUNQUE
YA HACE UNOS AÑOS PARTIÓ DE NUESTRO LADO SIEMPRE LO LLEVO EN MI
CORAZON.

A MIS HERMANOS ANDRES Y JUAN JOSE POR SU APOYO, COMPRENSION Y POR
QUE SIEMPRE HAN CREIDO EN MIS CAPACIDADES

A TODAS LAS PERSONAS ESPECIALES A LAS QUE ME GUSTARIA AGRADECER
SU AMISTAD, AMOR, APOYO Y COMPAÑÍA EN TODOS LOS MOMENTOS QUE
PASAMOS EN ESTE PROCESO.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE CARRERA CON LOS QUE COMPARTIMOS,
REIMOS Y APRENDIMOS EL ARTE DE LA VIDA EN ESTE PROCESO

DEDICATORIA DIEGO

SI UNA PERSONA ES PERSEVERANTE, AUNQUE SEA DURA DE ENTENDIMIENTO, SE HARÁ INTELIGENTE; Y AUNQUE SEA DÉBIL SE TRANSFORMARÁ EN FUERTE.

LEONARDO DA VINCI

A DIOS

POR HABERME PERMITIDO ALCANZAR ESTE LOGRO TAN IMPORTANTE, POR BRINDARME LA CONFIANZA Y LA PACIENCIA PARA CULMINAR ESTE GRAN CICLO.

A MI MADRE LUDY ROCÍO VARGAS MEDINA, POR CADA UNA DE LAS ENSEÑANZAS QUE EN MI HA DEJADO, LAS CUALES FUERON DE GRAN IMPORTANCIA PARA CRECER COMO PERSONA. TE AMO.

A MI TÍO JORGE RICARDO VARGAS MEDINA POR DARMÉ LA OPORTUNIDAD Y EL APOYO PARA INICIAR ESTA ETAPA DE MI VIDA LA CUAL CULMINA DE FORMA EXITOSA.

A MIS HERMANOS ÁNGELA, WILMER, DAYANA E IVON. QUE A TRAVÉS DE LOS AÑOS HAN SIDO UN ESLABÓN IMPORTANTE EN CADA UNA DE LOS LOGROS OBTENIDOS.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ingeniero ABEL ANTONIO PARADA CORRALES, por su aporte, conocimiento, colaboración para realización de este Proyecto de Grado.

A los estudiantes y personal técnico de la Escuela de Ingeniería Mecánica que directa o indirectamente colaboraron a la culminación del proyecto.

La UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER y al grupo de docentes que hacen parte de la Escuela de Ingeniería Mecánica por sus aportes y enseñanzas.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	19
1. OBJETIVOS	20
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
2. CONTROL DE PRESION.....	21
2.1. VALVULA DE SEGURIDAD	21
2.2. VALVULA DE CONTRABALANCE	22
2.2.1. Válvula de Contrabalance de Acción Directa	22
2.2.2. Válvula de Contrabalance de Acción Remota	23
2.2.3. Válvula de Contrabalance de Frenado o Sostenimiento.	24
3. CONTROL DIRECCIONAL	25
3.1. VALVULAS DIRECCIONALES.....	25
3.2. CLASIFICACION DE LAS VALVULAS DIRECCIONALES.....	25
3.2.1. Número de Posiciones	25
3.2.2. Número de Vías	26
3.2.3. Tipo de Accionamiento	26
3.2.4. Tipo de Centro	29
4. VALVULAS DE CARTUCHO.....	32
4.1. VENTAJAS DE LAS VALVULAS DE CARTUCHO	32
4.2. TIPOS DE VALVULAS DE CARTUCHO	33
4.2.1. Válvulas de cartucho para insertar	33
4.2.2. Válvulas de cartucho para roscar	34

4.3.	VALVULA DE CARTUCHO PARA CONTROL DIRECCIONAL	35
5.	MANIFOLD.....	38
5.1.	DISEÑO DEL MANIFOLD	38
5.1.1.	Circuito hidráulico.....	39
5.1.2.	Componentes del manifold.....	40
5.1.3.	Selección de los componentes.....	40
5.1.4.	Válvula de cartucho tipo elemento lógico	40
5.1.5.	Válvula de cartucho antirretorno.....	40
5.1.6.	Válvula de cartucho de contrabalance	41
5.1.7.	Válvula direccional	41
5.2.	CONEXIONES EN EL MANIFOLD.....	41
5.2.1.	Conexión puerto de presión – puerto de presión válvula cetop 3 – puerto 2 de las válvulas lógicas 2 y 3 – puerto 1 antirretorno 1	42
5.2.2.	Conexión puerto de tanque – puerto de tanque válvula cetop 3 –puerto 2 de las válvulas lógicas 1 y 4.....	43
5.2.3.	Conexión cilindro salida – puerto 1 de la válvula contrabalance	44
5.2.4.	Conexión cilindro entrada – puerto 3 piloto, de la válvula contrabalance 5– puerto 1 de las válvulas lógicas 3 y 4 –antirretorno 2.....	45
5.2.5.	Conexión puerto 2 válvula de contrabalance 5 – puerto 1 de las válvulas lógicas 1 y 2	46
5.2.6.	Conexión puerto piloto 3 válvula lógica 1 y 3– puerto a de las válvulas direccional	47
5.2.7.	Conexión puerto piloto 3 válvula lógica 2 y 4 – puerto b de las válvulas direccional	48
5.2.8.	Conexión puerto P válvula direccional – válvulas de antirretorno 1 y 2.....	49
5.2.9.	Conexión subiendo la carga	50
5.2.10.	Conexión bajando la carga.....	51
5.2.11.	Conexión sosteniendo la carga	52
5.3.	SELECCION DEL MATERIAL PARA EL BLOQUE DEL MANIFOLD	53
5.4.	SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DEL MANIFOLD (CAD)	55
5.4.1.	Enmallado del manifold	56

5.4.2. Presión aplicada en las superficies internas.....	58
5.4.3. Análisis de esfuerzos	59
5.4.4. Factor de seguridad	60
5.4.5. Análisis de desplazamientos y deformaciones unitarias	61
5.5. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD.....	63
5.5.1. Punto crítico 1	65
5.5.2. Punto crítico 2	67
5.5.3. Punto crítico 3	68
5.5.4. Punto crítico 4	69
5.5.5. Punto crítico 5	70
5.5.6. Punto crítico 6	71
5.6. DETERMINACIÓN DE REGIMEN DE FLUJO	72
5.7. PERDIDA TOTAL DE PRESION.....	74
5.7.1. Cálculo de la caída de presión en el ascenso de la carga	75
5.7.2. Cálculo de la caída de presión en el descenso de la carga.....	79
5.8. ANALISIS DE FLUJO INTERNO.....	83
5.8.1. Análisis de simulación de fluidos subiendo la carga – Línea de presión	84
5.8.2. Análisis de simulación bajando la carga – Línea de presión	87
6. MONTAJE	90
7. PRUEBAS	92
7.1. ELEVANDO LA CARGA.....	92
7.2. DESCENSO DE LA CARGA	94
7.3. CARGA SUSPENDIDA	96
8. COSTO DEL PROYECTO.....	98
9. CONCLUSIONES.....	99
BIBLIOGRAFIA.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Válvula de seguridad.....	21
Figura 2. Válvula de acción directa	22
Figura 3. Válvula de acción remota.....	23
Figura 4. Válvula de frenado	24
Figura 5. Posiciones de una válvula direccional.....	25
Figura 6. Numero de vías de una válvula direccional.....	26
Figura 7. Válvula direccional operada manualmente	26
Figura 8. Válvula direccional de mando mecánico	27
Figura 9. Válvula direccional accionada neumáticamente	27
Figura 10. Válvula direccional accionada por solenoides.....	28
Figura 11. Válvula direccional pilotada.....	28
Figura 12. Distintos tipos de centros para válvulas de cuatro vías.....	30
Figura 13. Válvula direccional 4/3 centro cerrado.	31
Figura 14. Construcción de una válvula de cartucho para insertar	33
Figura 15. Funciones de las válvulas de cartucho para roscar	35
Figura 16. Válvula de cartucho accionada hidráulicamente	36
Figura 17. Válvula antirretorno simple tipo obturador.....	37
Figura 18. Circuito hidráulico del manifold	39
Figura 19. Vista isométrica manifold	41
Figura 20. Conexión línea de presión	42
Figura 21. Conexión puerto de tanque.....	43
Figura 22. Conexión salida cilindro	44
Figura 23. Conexión entrada cilindro	45
Figura 24. Conexión válvula de contrabalance puerto 2	46
Figura 25. Conexión válvulas 1 y 3 puerto piloto.....	47
Figura 26. Conexión válvulas 2 y 4 puerto piloto.....	48
Figura 27. Conexión válvula direccional puerto P	49
Figura 28. Conexión subiendo la carga.....	50

Figura 29. Conexión bajando la carga	51
Figura 30. Conexión sosteniendo la carga	52
Figura 31. Comparación propiedades de varios materiales	53
Figura 32. Propiedades mecánicas según el espesor.....	54
Figura 33. Propiedades físicas del material	54
Figura 34. Propiedades del material seleccionado.....	55
Figura 35. Propiedades del material	56
Figura 36. Información de malla.....	57
Figura 37. Enmallado	57
Figura 38. Presión aplicada	58
Figura 39. Vista isométrica del análisis de esfuerzos.....	59
Figura 40. Corte del manifold de análisis de esfuerzos.....	60
Figura 41. Factor de seguridad	61
Figura 42. Vista isométrica de desplazamiento.....	62
Figura 43. Corte punto crítico.....	62
Figura 44. Criterio pared gruesa - delgada	63
Figura 45. Punto crítico 1	65
Figura 46. Punto crítico 2	67
Figura 47. Resultados punto crítico 2.....	67
Figura 48. Punto crítico 3	68
Figura 49. Resultados punto crítico 3.....	68
Figura 50. Punto crítico 4	69
Figura 51. Resultados punto crítico 5.....	69
Figura 52. Punto crítico 5	70
Figura 53. Resultados punto crítico 5.....	70
Figura 54. Punto crítico 6	71
Figura 55. Resultados punto crítico 6.....	71
Figura 56. Comparación resultados factor de seguridad.....	72
Figura 57. Resultados número de Reynolds	73
Figura 58. Recorrido del fluido hidráulico en el ascenso de la carga	75

Figura 59. Longitudes de cada tramo elevando la carga	76
Figura 60. Recorrido del fluido hidráulico en el descenso de la carga	79
Figura 61. Longitudes de cada tramo descendiendo la carga.....	80
Figura 62. Recorrido del fluido de la línea de presión para elevar la carga	84
Figura 63. Vista isométrica subiendo la carga.....	85
Figura 64. Vista frontal subiendo la carga.....	85
Figura 65. Recorrido del fluido de la línea de presión para descender la carga ...	87
Figura 66. Vista isométrica descendiendo la carga	88
Figura 67. Vista frontal descendiendo la carga	88
Figura 68. Manifold ensamblado	90
Figura 69. Manifold instalado en el banco de “La Pluma”	91
Figura 70. Montaje completo en el banco	91
Figura 71. Circuito hidráulico elevando la carga	92
Figura 72. Circuito hidráulico bajando la carga	94
Figura 73. Circuito hidráulico sosteniendo la carga.....	96
Figura 74. Costo detallado del proyecto.....	98

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: DATOS TECNICOS VALVULA DIRECCIONAL CETOP 3

ANEXO B: DATOS TECNICOS VALVULA DE CARTUCHO LOGICA

ANEXO C: DATOS TECNICOS VALVULA DE CARTUCHO ANTIRRETORNO

ANEXO D: DATOS TECNICOS VALVULA DE CARTUCHO CONTRABALANCE

ANEXO E: PLANOS MANIFOLD

ANEXO F: PLANOS CAVIDADES VALVULAS DE CARTUCHO

ANEXO G: TABLA DE PERDIDAS EN ACCESORIOS - CRANE

ANEXO H: MANUAL DE OPERACIÓN

Los anexos se encuentran en carpeta adjunta en el CD.

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA VÁLVULA DIRECCIONAL TIPO CARTUCHO CON SOSTENIMIENTO Y FRENADO INCLUIDO PARA EL BANCO DE “LA PLUMA” DEL LABORATORIO DE POTENCIA FLUIDA.*

AUTORES: DIEGO EULISES PUERTO VARGAS, SERGIO IVAN TOVAR MONTAÑA.**

PALABRAS CLAVES: Bloque manifold, Válvula contrabalance, Válvula de frenado, Válvula de cartucho.

DESCRIPCIÓN: El objetivo de este proyecto de grado es el diseño y construcción de una válvula direccional pilotada tipo cartucho con sostenimiento y frenado incluido haciendo uso de la tecnología manifold para el manejo de caudales elevados, reemplazando la función que presta una válvula direccional tipo manifold incapaz de cumplir con las especificaciones requeridas en el banco de “La Pluma” en el laboratorio de potencia fluida de la Universidad Industrial de Santander.

Una de las razones principales por las cuales se desarrolló este proyecto es para brindar a la comunidad estudiantil herramientas que permitan complementar los conocimientos adquiridos en las aulas mediante prácticas en laboratorios. Habiendo dicho esto cabe recalcar que al implementar tecnología tipo manifold en el banco de “La Pluma” se puede mostrar a los estudiantes el control de una carga suspendida para ser elevada y descendida controladamente y sostenerla en cualquier punto de su trayectoria de una manera eficiente.

Para la fabricación y desarrollo del manifold se dio inicio a partir del diseño modelado haciendo uso de las herramientas de simulación en software CAD y CAE (Solidworks 2015) las cuales permiten un análisis más detallado para obtener un diseño óptimo, eficiente, funcional y acorde a lo especificado anteriormente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico – Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Abel Parada Corrales.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DIRECTIONAL VALVE CARTRIDGE TYPE INCLUDED BRAKING SUPPORT FOR “LA PLUMA” BANK OF FLUID POWER LAB.*

AUTHORS: DIEGO EULISES PUERTO VARGAS, SERGIO IVAN TOVAR MONTAÑA.**

KEY WORDS:

Manifold block, counterbalance valve, braking valve, cartridge valve.

Report: The aim of this graduation project is the design and construction of a directional valve cartridge type piloted with support and braking including that draws on manifold technology for handling high flows. It replaces the function that provides a directional type valve manifold is unable to carry out with specifications required by "LA PLUMA" bank fluid power lab of the Industrial University of Santander.

One of the main reasons to develop this project is to give the student community the tools to avoid them complement the knowledge acquired in the classroom through hands-on labs. Mentioned that it should be emphasized to implement such technology manifold type in the “LA PLUMA” bank can show students the control of a suspended load to be raised and lowered in a controlled manner and hold any point along efficiently.

For the manufacture and development of manifold was begun from modeling design modeling using simulation tools in CAD and CAE (SolidWorks 2015) software, which allow a more detailed design for optimum , efficient, functional and according to what specified above analysis.

* Bachelor thesis.

** Physic-mechanical Engineering Faculty. Mechanical Engineering School. Director Abel Parada Corrales.

INTRODUCCION

Los sistemas oleohidráulicos son muy utilizados en la actualidad, debido a que permite una gran versatilidad al transmitir movimiento, fuerza, potencia con una alta precisión y eficiencia, también estos sistemas ayudan a controlar los picos de sobrecarga permitiendo mayor seguridad y protección. Al ser la oleohidráulica un campo tan amplio y de gran desarrollo, la industria exige profesionales con la capacidad de desarrollar y aplicar el conocimiento en pro de plantear soluciones óptimas a las necesidades de la sociedad y la industria.

El objetivo de este proyecto de grado es el diseño y la construcción de una válvula direccional tipo cartucho con sostenimiento y frenado incluido haciendo uso de la tecnología manifold para controlar el funcionamiento del banco de “La Pluma” del laboratorio de potencia fluida de la escuela de Ingeniería Mecánica.

Una importante razón por la cual se realizó este proyecto es poder proporcionarles a los estudiantes de Ingeniería Mecánica elementos tecnológicos que permitan controlar el levantamiento, sostenimiento, frenado y descenso de una carga suspendida en el banco de “La Pluma” para afianzar y poner en práctica sus conocimientos adquiridos en las aulas, y mejorar el funcionamiento del banco ya que actualmente este proceso es llevado a cabo con un sistema hidráulico tradicional, el cual no es muy eficiente.

Para llevar a cabo el diseño del manifold se hizo uso de las herramientas de simulación en software CAD y CAE (Solidworks) donde se realizó un análisis para una carga suspendida de 500 kg controlada mediante un cilindro telescópico. EL manifold cuenta con una válvula direccional cetop 3, cuatro válvulas direccionales de cartucho tipo elemento lógico para roscar, dos válvulas antirretorno de cartucho, una válvula de contrabalance de cartucho, tapones, acoples y racores.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Cumplir con la misión de la Universidad Industrial de Santander como propósito en la generación, divulgación y adecuación de conocimientos al diseñar y construir una válvula direccional pilotada tipo cartucho con sostenimiento y frenado incluido, implementando la tecnología de manifold, para el banco de la pluma del laboratorio de potencia fluida.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desarrollar un diseño conceptual y detallado de una válvula direccional pilotada tipo cartucho con sostenimiento y frenado incluido para el control de cargas desbocables.
- Construir y ensamblar un manifold con sus respectivas interconexiones y accesorios que cumplan con los siguientes requerimientos:
 - ✓ Direccionar el fluido para subir y bajar la carga.
 - ✓ Capacidad para realizar sostenimiento de la carga.
 - ✓ Frenado del sistema controladamente.
- Realizar simulaciones con fluido presurizado para realizar el análisis de esfuerzos, deformaciones y variaciones de presión en el manifold.
- Elaborar un manual de operación y funcionamiento del banco de pruebas de la pluma con la implementación de la válvula direccional tipo cartucho con sostenimiento y frenado.

2.2. VALVULA DE CONTRABALANCE

Esta válvula es normalmente cerrada y se utiliza principalmente para contrarrestar o balancear una carga. Dentro de esta tipo de válvula se pueden encontrar tres configuraciones para diferentes aplicaciones:

2.2.1. Válvula de Contrabalance de Acción Directa

Esta válvula posee pilotaje interno generando un bloqueo relativo capaz de frenar la carga, al configurar el taraje de la válvula en un valor levemente superior al de la presión necesaria para mantener la carga. . No se generan contrapresiones en esta configuración.

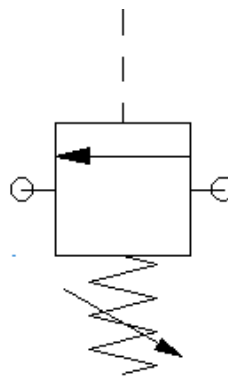
Figura 2. Válvula de acción directa



2.2.2. Válvula de Contrabalance de Acción Remota

Utilizando esta configuración perdemos la capacidad de realizar frenado, no hay contrapresión y su pilotaje es externo. Se recomienda su aplicación para sistemas en los cuales la carga se desplace a bajas velocidades.

Figura 3. Válvula de acción remota



2.2.3. Válvula de Contrabalance de Frenado o Sostenimiento.

Esta válvula normalmente cerrada operada por pilotaje remoto y directo simultáneamente combina las cualidades de las válvulas mencionadas anteriormente lo cual hace que elimine las contrapresiones y puede contrabalancear la carga. Al poseer ambos sistemas brinda mayor seguridad con una mínima caída de presión. Permite controlar la velocidad de descenso, evita presiones excesivas al momento de detener la carga.

Figura 4. Válvula de frenado



3. CONTROL DIRECCIONAL

3.1. VALVULAS DIRECCIONALES

Estas válvulas reciben su nombre por que controlan la dirección del fluido en los sistemas hidráulicos. Aunque todas realizan la misma función, hay una gran cantidad de variaciones dependiendo de su construcción y funcionamiento.

3.2. CLASIFICACION DE LAS VALVULAS DIRECCIONALES

3.2.1. Número de Posiciones

Esta clasificación hace referencia a las diferentes posibilidades que una válvula ofrece para el control del fluido. Debemos saber que una válvula de control direccional posee un mínimo de dos posiciones. Las posiciones están definidas gráficamente por cuadros.

Figura 5. Posiciones de una válvula direccional

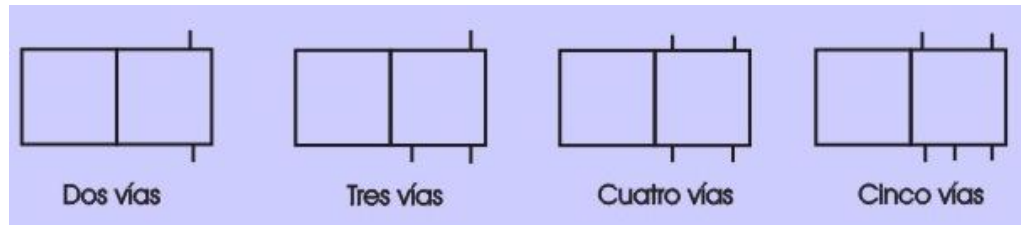


Fuente: Tecnología Hidráulica Industrial – Parker.

3.2.2. Número de Vías

Es la cantidad de conexiones útiles que una válvula de control direccional posee.

Figura 6. Numero de vías de una válvula direccional



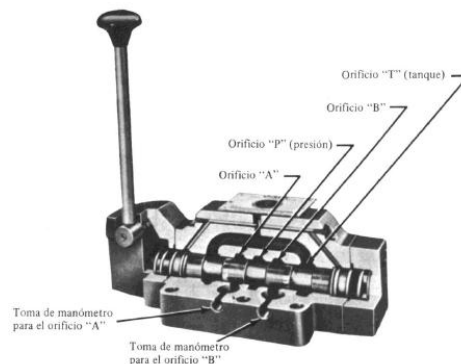
Fuente: <http://quantum.cucei.udg.mx/~gramirez/menus/elementos/valvulas.html>

3.2.3. Tipo de Accionamiento

Otra manera de clasificar las válvulas direccionales es por el mecanismo utilizado para accionar las diferentes posiciones. Actualmente se pueden encontrar varias maneras de ser accionadas:

- Accionamiento manual:

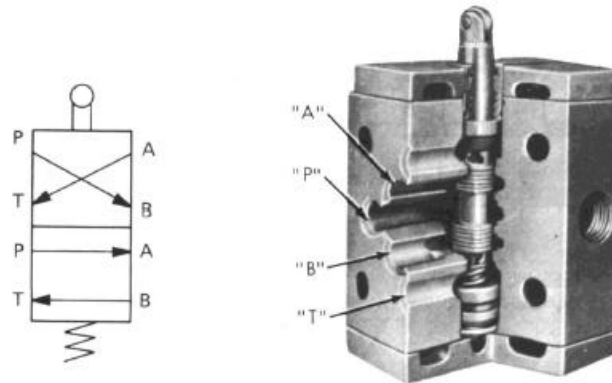
Figura 7. Válvula direccional operada manualmente



Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

- Accionamiento mecánico:

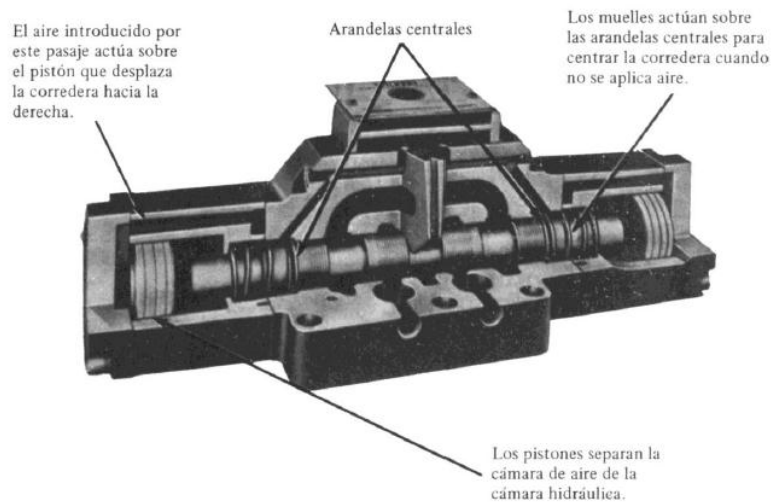
Figura 8. Válvula direccional de mando mecánico



Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

- Accionamiento neumático:

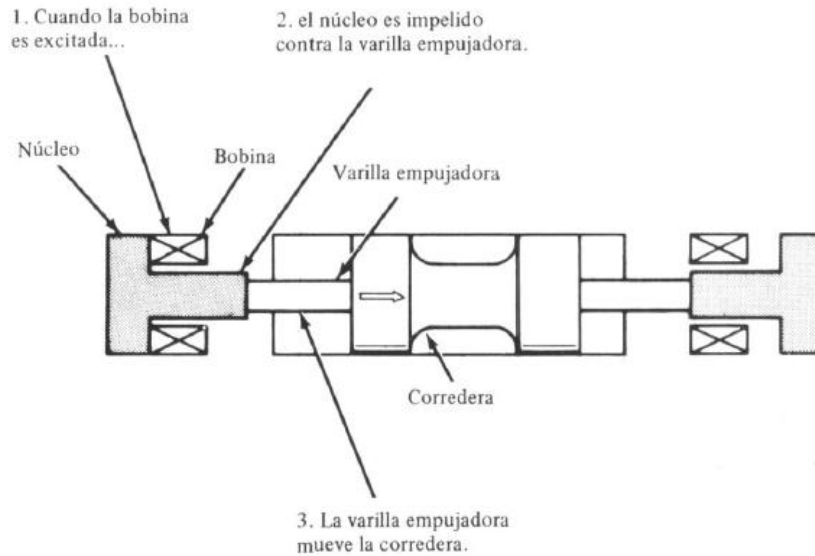
Figura 9. Válvula direccional accionada neumáticamente



Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

- Accionamiento por solenoides:

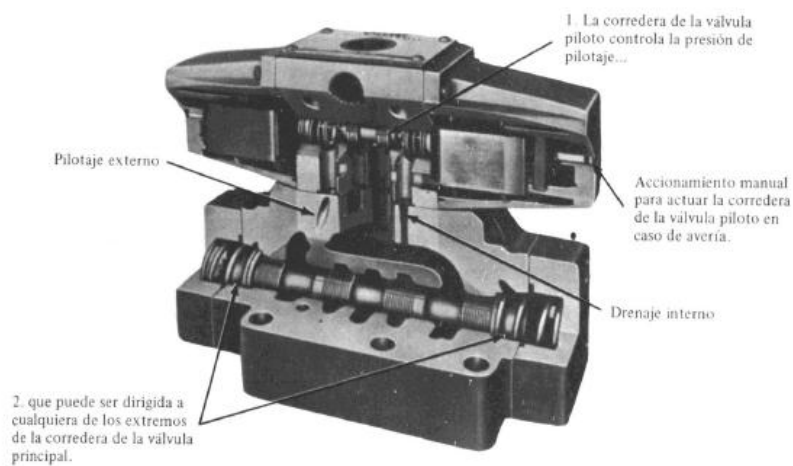
Figura 10. Válvula direccional accionada por solenoides



Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

- Accionamiento por piloto hidráulico:

Figura 11. Válvula direccional pilotada

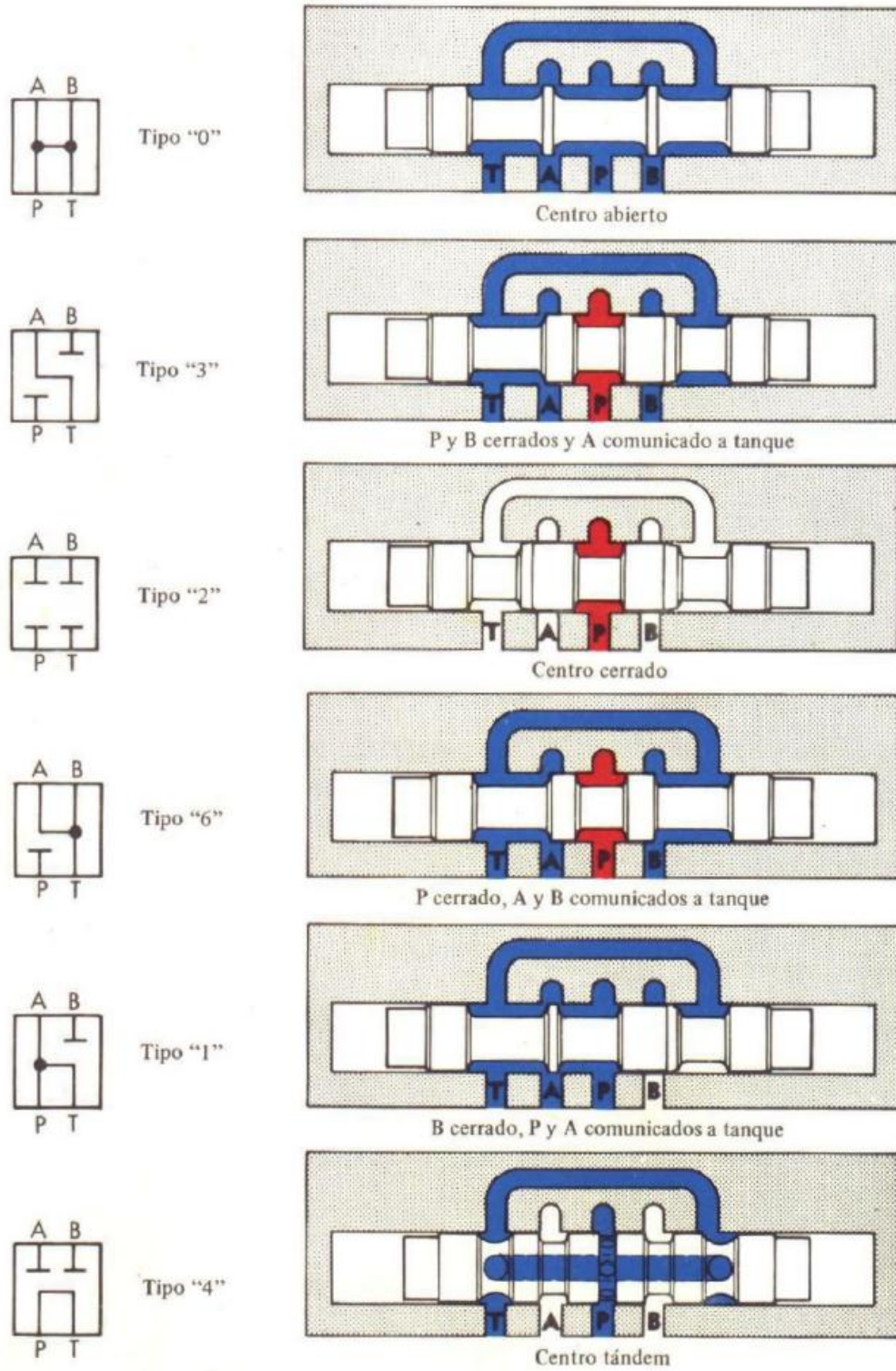


Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

3.2.4. Tipo de Centro

La clasificación de las válvulas direccionales por el tipo de centro es una de las más importantes y más utilizadas ya que para una misma configuración de posiciones y vías existen varios tipos de centro como se puede observar en la figura 12.

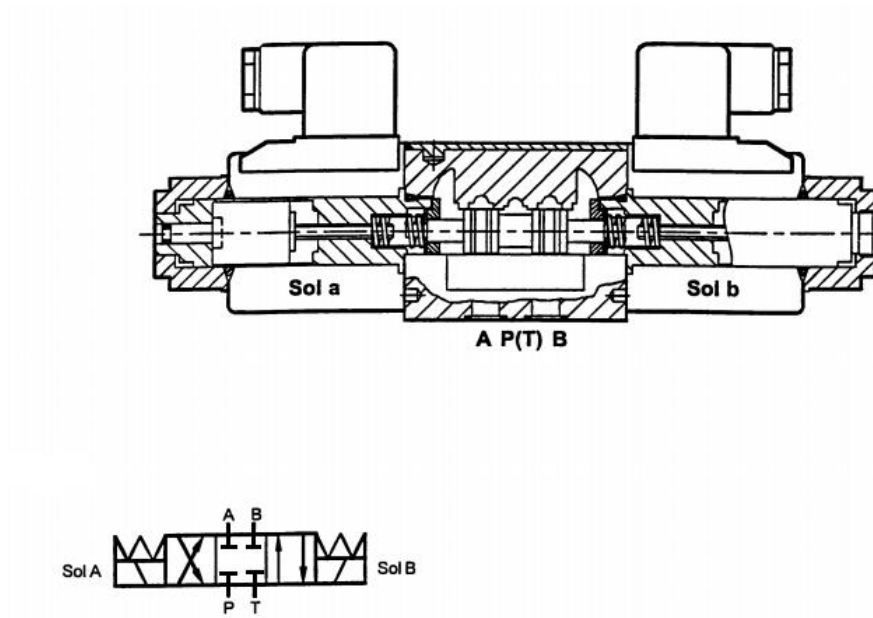
Figura 12. Distintos tipos de centros para válvulas de cuatro vías



Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

Al definir todas las características y los tipos de clasificación de las diferentes configuraciones de las válvulas direccionales, es posible describir completamente una válvula.

Figura 13. Válvula direccional 4/3 centro cerrado.



Fuente: Catalogo Oilgear Towler.

Para definir la válvula mostrada en la figura 13 se debe describir cada uno de las características expuestas previamente. Válvula de cuatro vías y tres posiciones, con un centro cerrado y su accionamiento es por solenoides.

4. VALVULAS DE CARTUCHO

Son aquellas en que un cartucho (formado por un pistón, un muelle y una tapa de cierre) se inserta sobre un alojamiento especialmente diseñado en un bloque. El principio del funcionamiento de estas válvulas es el mismo de los antirretornos pilotados las cuales si son combinadas con distintos mandos, pueden emplearse para regulación de presión, de caudal y como válvulas direccionales.

4.1. VENTAJAS DE LAS VALVULAS DE CARTUCHO

Estas válvulas presentan numeradas ventajas sobre las válvulas convencionales tipo corredera. En muchas aplicaciones, estas ventajas incluyen:

- Capacidad de presión más elevada.
- Funcionamiento más eficiente.
- Ciclos más rápidos.
- Niveles acústicos más bajos.
- Menor costo de instalación.
- Mayor flexibilidad para el diseño de los sistemas.
- Menor tamaño del bloque.
- Mayor tolerancia a la contaminación.
- Mejor funcionamiento y control.
- Eliminación de fugas externas y reducción de las internas.
- Más fiabilidad.

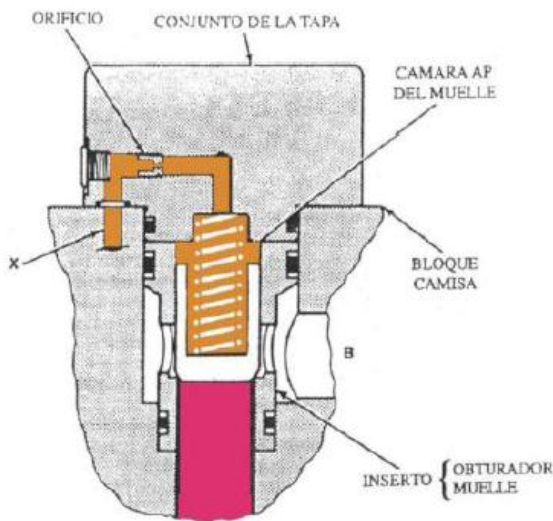
Aunque las válvulas de cartucho presentan en algunos casos mejores características, no buscan reemplazar por completo las válvulas tipo corredera, por el contrario en la actualidad se puede observar que los diferentes sistemas hidráulicos utilizan una combinación de válvulas tipo cartucho y tipo corredera, para lograr un diseño mucho más eficiente.

4.2. TIPOS DE VALVULAS DE CARTUCHO

4.2.1. Válvulas de cartucho para insertar

Estas válvulas son similares a los antirretorno con obturador y están formadas con un conjunto deslizante que se inserta en una cavidad mecanizada dentro de un bloque. Una placa de control atornillada sobre este bloque asegura el inserto sobre la cavidad, este inserto está formado por una camisa, un obturador, un muelle y las juntas.

Figura 14. Construcción de una válvula de cartucho para insertar



Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

El inserto de una válvula de cartucho puede considerarse como la etapa principal de una válvula de dos etapas. Lleva dos orificios “A” y “B” para el caudal principal y pasajes mecanizados dentro del bloque que conectan estos orificios a los cartuchos o al sistema hidráulico en el funcionamiento. Similarmente, un pasaje de pilotaje mecanizado en el bloque controla el orificio de control “X” como se desee.¹

Hay un orificio en el pasaje taladrado entre el orificio “X” y la cámara del muelle “A”. Su finalidad es reducir la velocidad a la que se abre o se cierra el obturador de la válvula. Hay disponibles varios tamaños de orificio para optimizar o sintonizar la respuesta del cartucho con relación a la del sistema hidráulico completo.

4.2.2. Válvulas de cartucho para roscar

La diferencia principal entre ambos tipos de válvulas se refiere a la forma en que se realizan sus funciones de control hidráulico. Típicamente las válvulas para insertar dependen de una válvula piloto para poder realizar una función hidráulica completa. Por el contrario la mayoría de las válvulas para roscar son capaces de cumplir su función por si solas.

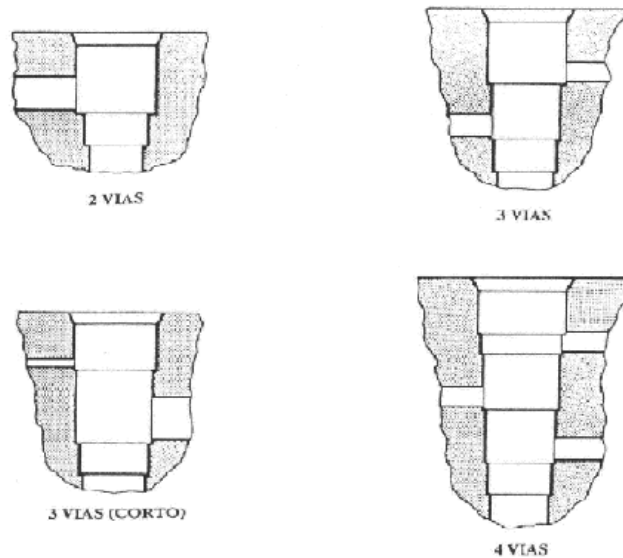
Ambos tipos de válvulas también se logran diferenciar en los aspectos de diseño, ya que la mayoría de las válvulas para insertar son del tipo obturador y las de roscar combinan obturadores y correderas. Otro aspecto diferenciador es su superficie externa la cual en las válvulas para roscar, como su nombre lo indica, emplean roscas para atornillarse al bloque.

Las válvulas de cartucho para roscar cuentan con piezas normalizadas muy comunes que las hacen más flexibles e intercambiables que las demás válvulas. Adicionalmente en una misma cavidad pueden desempeñar varias funciones. En la

¹ Manual de oleohidráulica industrial – Vickers.

misma cavidad pueden instalarse diferentes variantes, como se puede apreciar en la figura 15.

Figura 15. Funciones de las válvulas de cartucho para roscar

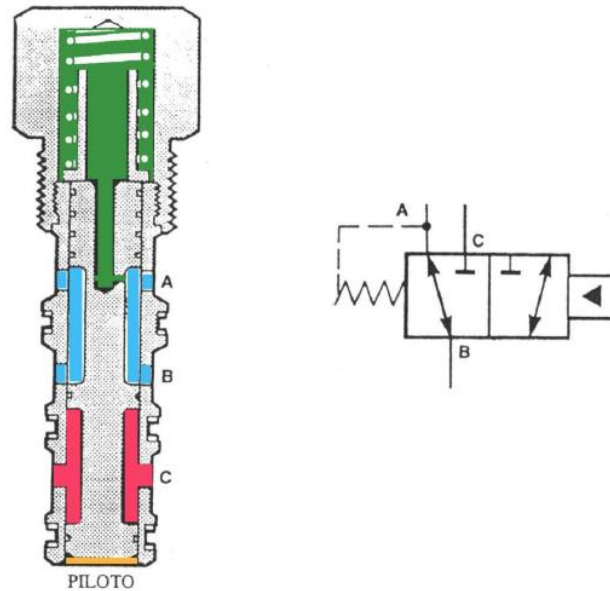


Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

4.3. VALVULA DE CARTUCHO PARA CONTROL DIRECCIONAL

Ambas válvulas de cartucho, para insertar y para roscar, se utilizan para control direccional. Para esta aplicación existen varias configuraciones de válvulas al igual que las válvulas direccionales descritas anteriormente, una de las más utilizadas son las accionadas hidráulicamente o pilotadas.

Figura 16. Válvula de cartucho accionada hidráulicamente



Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

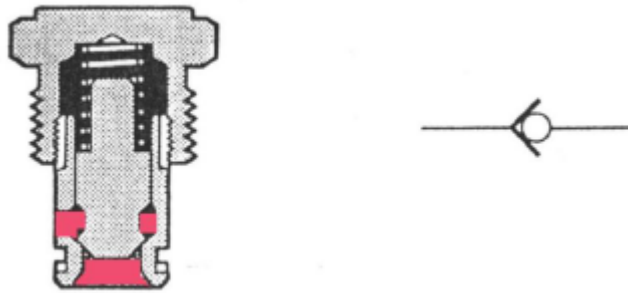
La figura 16 muestra una válvula pilotada hidráulicamente con dos posiciones, corredera deslizante y retorno por muelle. Cuando la presión del muelle es superior a la del pilotaje, el caudal pasa de “A” a “B”, y el orificio “C” queda bloqueado.

La cámara del muelle esta drenada internamente al orificio “A”. Por consiguiente, la presión piloto debe ser mayor a la presión que ejerce el muelle más cualquier presión en el orificio “A”, para accionar la válvula. Cuando esto ocurre la corredera se mueve para bloquear el orificio “A” y permite el paso del caudal entre los orificios “C” y “B”.²

Por otro lado también tenemos las válvulas antirretorno que forman un papel muy importante en el control de dirección del caudal como en el control de presión. Estas válvulas proporcionan un cierre hidráulico muy útil a la hora de sostener cargas suspendidas.

² Manual de oleohidráulica industrial - Vickers.

Figura 17. Válvula antirretorno simple tipo obturador



Fuente: Manual de oleohidráulica industrial-Vickers.

5. MANIFOLD

Los manifolds son elementos hidráulicos caracterizados principalmente por que reducen significativamente el número de racores utilizados en las líneas de interconexión entre los diferentes componentes del sistema, lo que elimina puntos potenciales de fugas, reduciendo así las pérdidas de fluido y disminuyendo la caída de presión. Para el uso de esta tecnología se utilizan las válvulas de cartucho, las cuales se insertan dentro de las cavidades del bloque y se conectan entre sí por medio de orificios internos, lo cual también disminuye el número de mangueras a utilizar.

El manifold es el elemento más importante en este proyecto ya que en él se insertan las válvulas de cartucho y se acopla con la válvula direccional, para así controlar la carga en el banco. Para alcanzar los objetivos planteados en el diseño y construcción del manifold se hace necesario realizar un proceso de análisis y diseño.

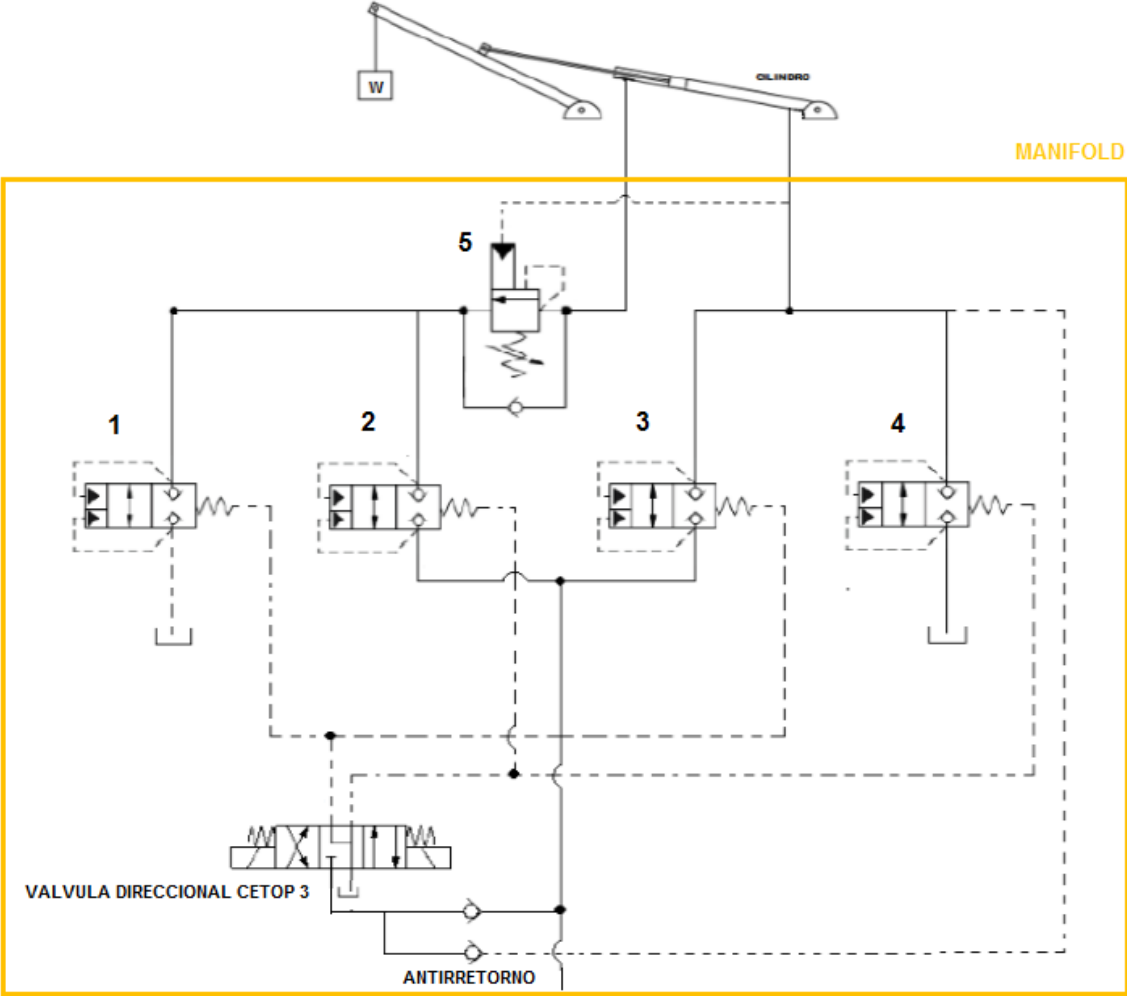
5.1. DISEÑO DEL MANIFOLD

El diseño del manifold se va a realizar bajo los parámetros de funcionamiento definidos del banco de “La Pluma del laboratorio de potencia fluida:

- **Presión:** 2000 psi.
- **Caudal:** 6 gpm.
- **Peso de la carga:** 500 kg.

5.1.1. Circuito hidráulico

Figura 18. Circuito hidráulico del manifold



5.1.2. Componentes del manifold

El circuito hidráulico que será usado en el manifold requiere de los siguientes componentes:

- Los elementos 1, 2, 3, 4 son válvulas de cartucho, tipo de elemento lógico.
- El elemento 5 es una válvula de contrabalance.
- Dos válvulas antirretorno tipo cartucho.
- Válvula direccional, cuatro vías, tres posiciones accionada por solenoides.

5.1.3. Selección de los componentes

Se tuvo en cuenta los siguientes parámetros para seleccionar las válvulas:

- Presión máxima del sistema 2000 psi.
- Caudal de operación de 6 gpm.

5.1.4. Válvula de cartucho tipo elemento lógico

Se seleccionó la válvula LODC-XDN de Sun Hydraulics (Anexo B).

5.1.5. Válvula de cartucho antirretorno

Se seleccionó la válvula CXAA-XBN de Sun Hydraulics (Anexo C).

5.1.6. Válvula de cartucho de contrabalance

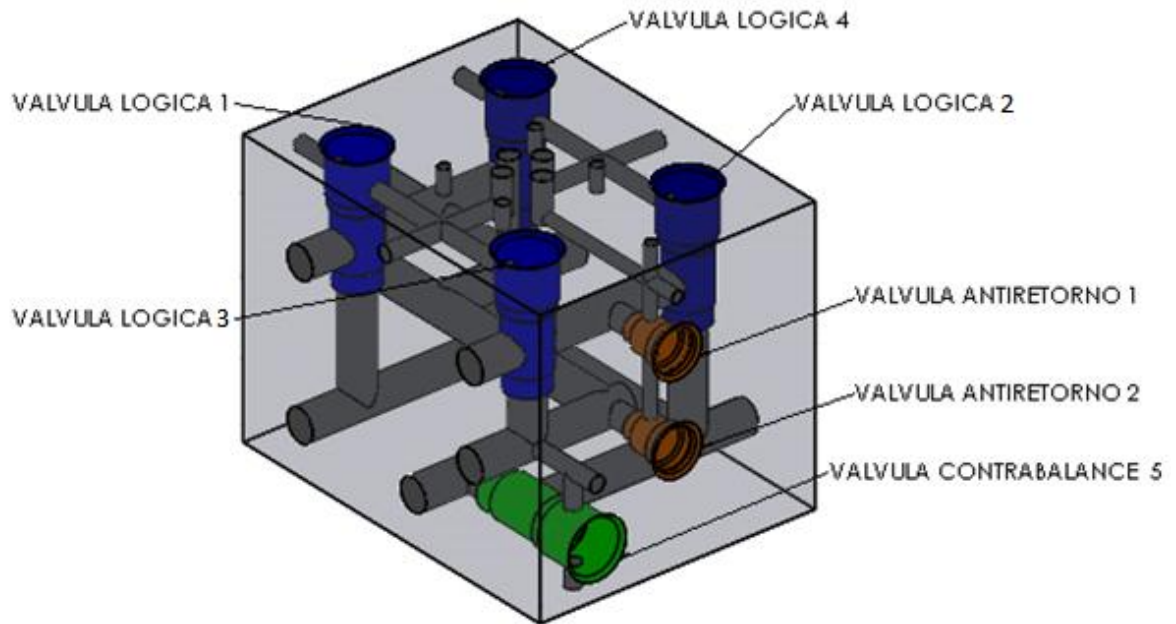
Se seleccionó la válvula CBCA-LHN de Sun Hydraulics (Anexo D).

5.1.7. Válvula direccional

Se selecciona una válvula direccional cuatro vías, tres posiciones 4/3, centro punto flotante, accionada por solenoide oilgear towler SGW-G02 CETOP 03 (Anexo A).

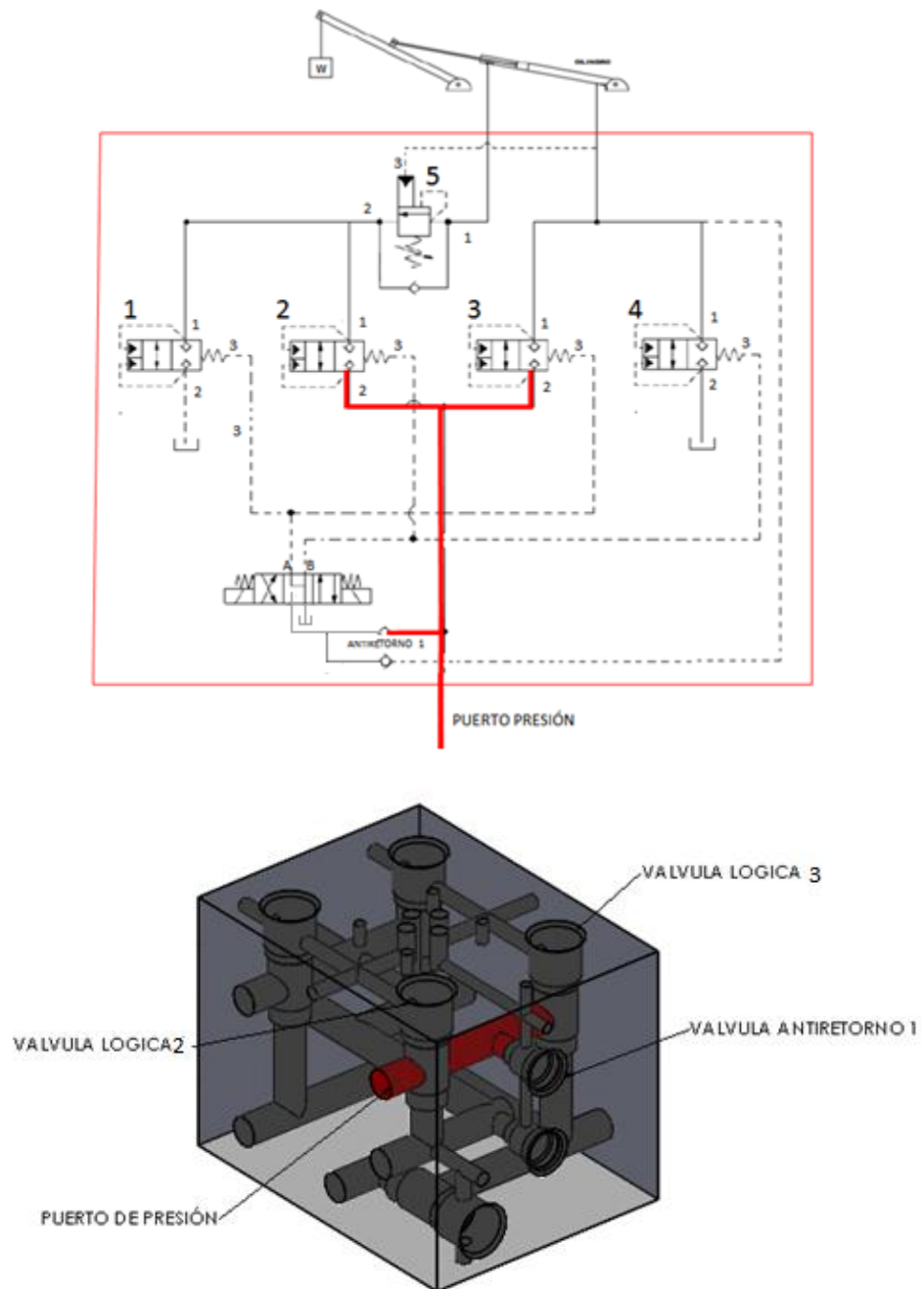
5.2. CONEXIONES EN EL MANIFOLD

Figura 19. Vista isométrica manifold



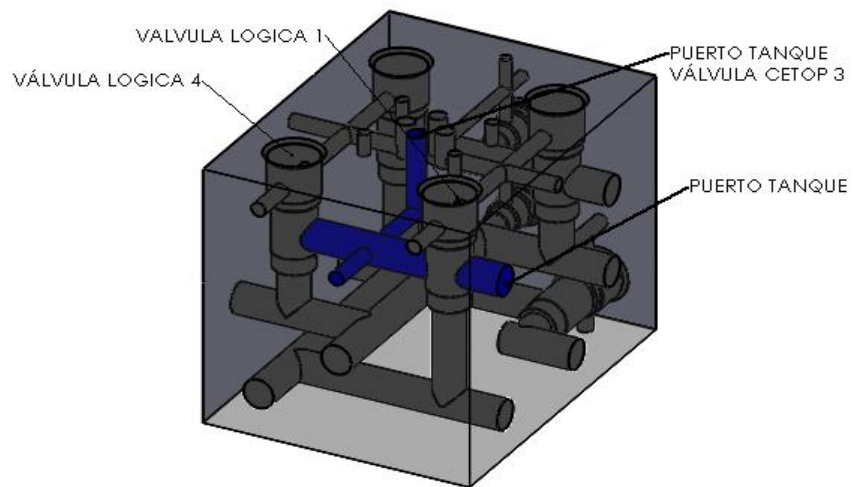
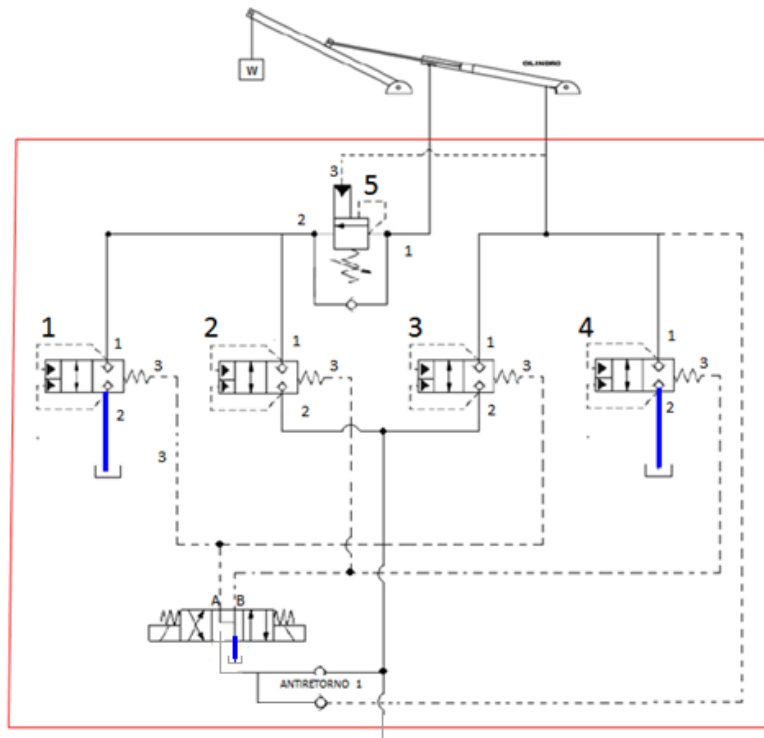
5.2.1. Conexión puerto de presión – puerto de presión válvula cetop 3 –
puerto 2 de las válvulas lógicas 2 y 3 – puerto 1 antirretorno 1

Figura 20. Conexión línea de presión



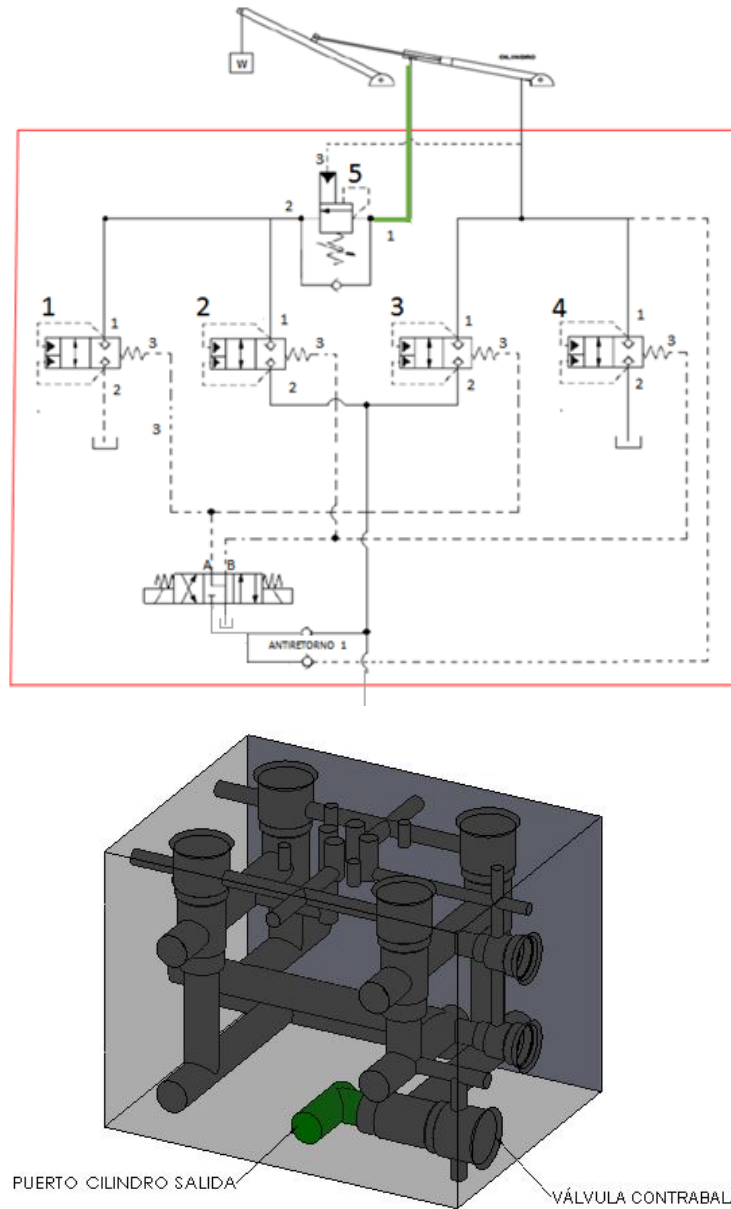
5.2.2. Conexión puerto de tanque – puerto de tanque válvula cetop 3 – puerto 2 de las válvulas lógicas 1 y 4

Figura 21. Conexión puerto de tanque



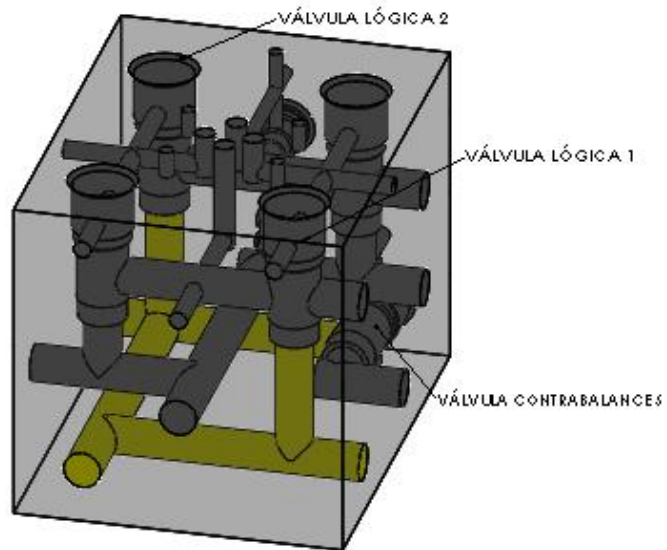
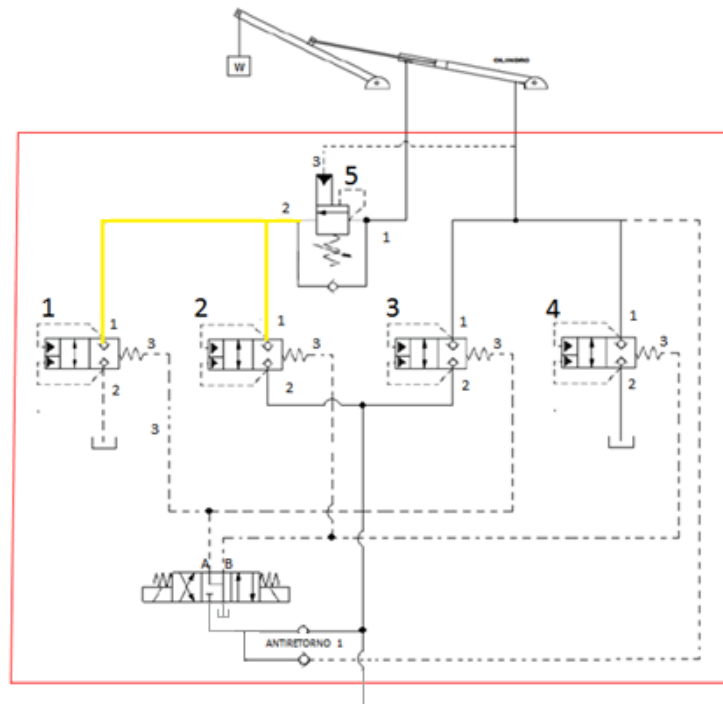
5.2.3. Conexión cilindro salida – puerto 1 de la válvula contrabalance

Figura 22. Conexión salida cilindro



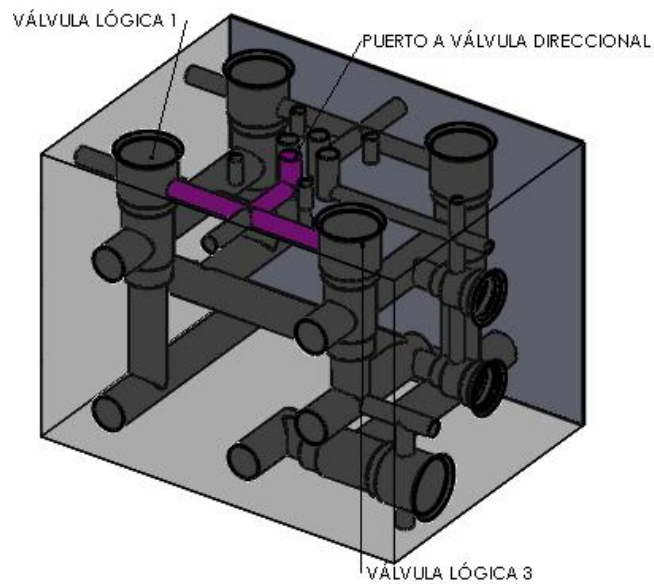
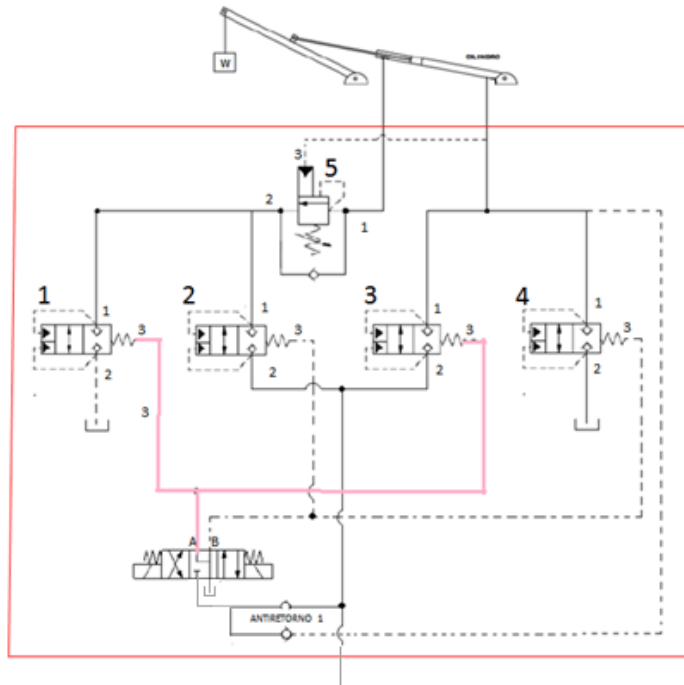
5.2.5. Conexión puerto 2 válvula de contrabalance 5 – puerto 1 de las válvulas lógicas 1 y 2

Figura 24. Conexión válvula de contrabalance puerto 2



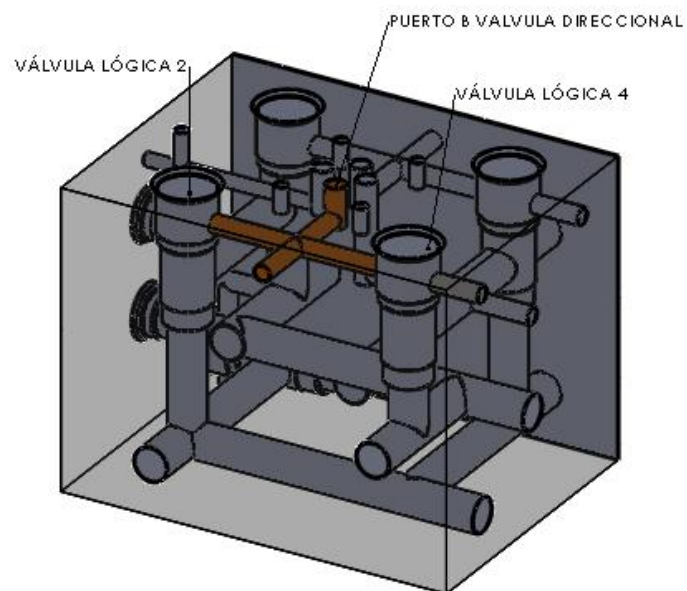
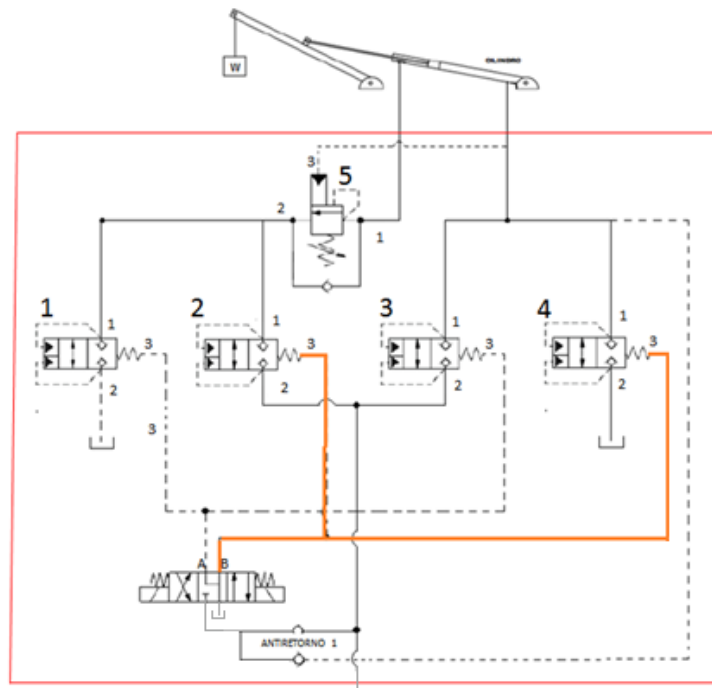
5.2.6. Conexión puerto piloto 3 válvula lógica 1 y 3– puerto a de las válvulas direccional

Figura 25. Conexión válvulas 1 y 3 puerto piloto



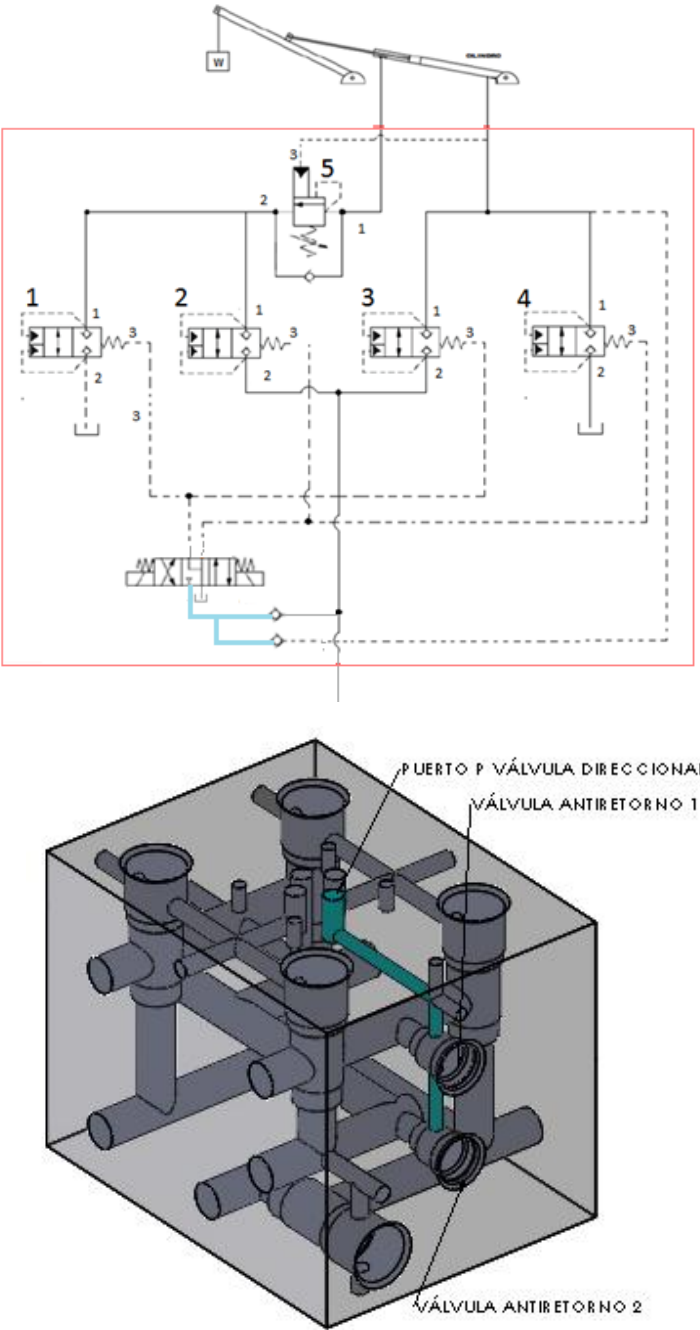
5.2.7. Conexión puerto piloto 3 válvula lógica 2 y 4 – puerto b de las válvulas direccional

Figura 26. Conexión válvulas 2 y 4 puerto piloto



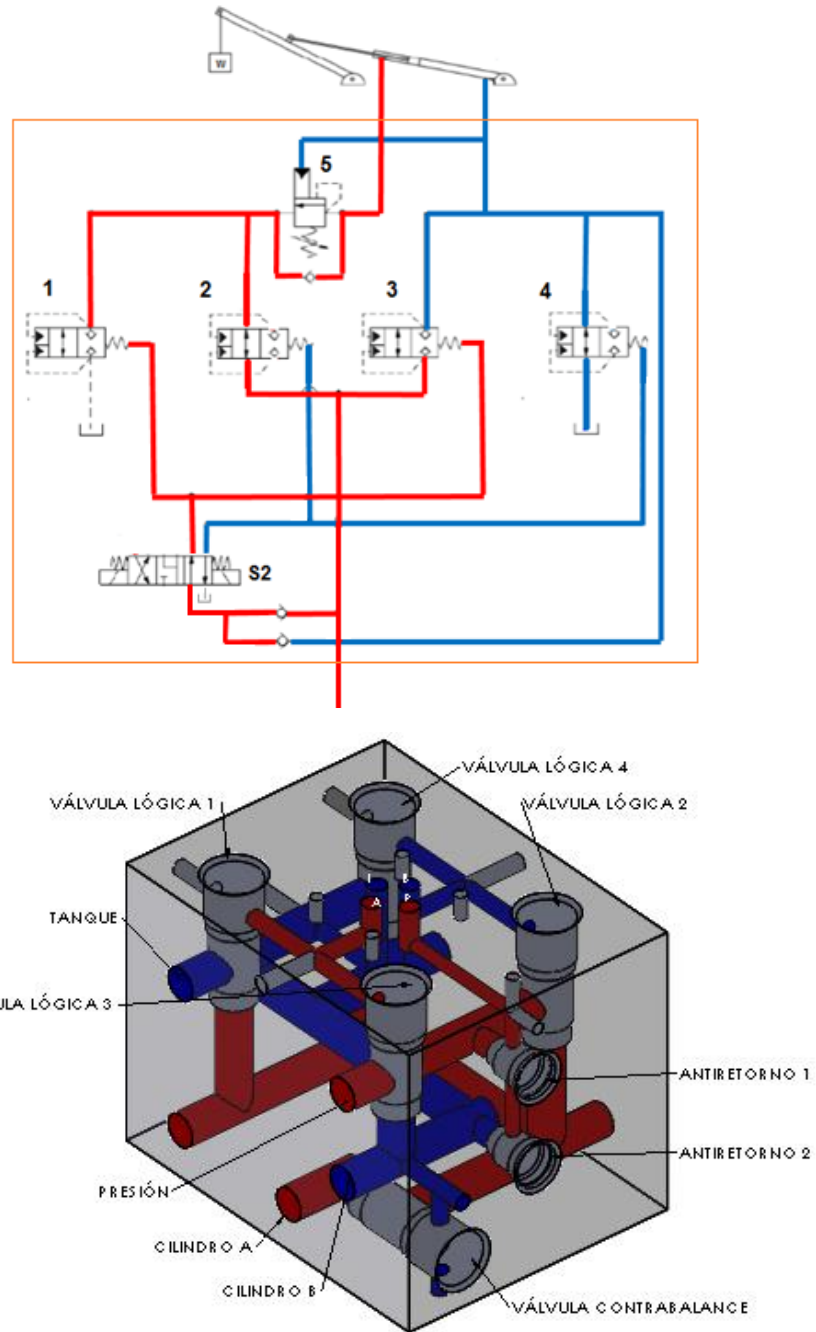
5.2.8. Conexión puerto P válvula direccional – válvulas de antirretorno 1 y 2

Figura 27. Conexión válvula direccional puerto P



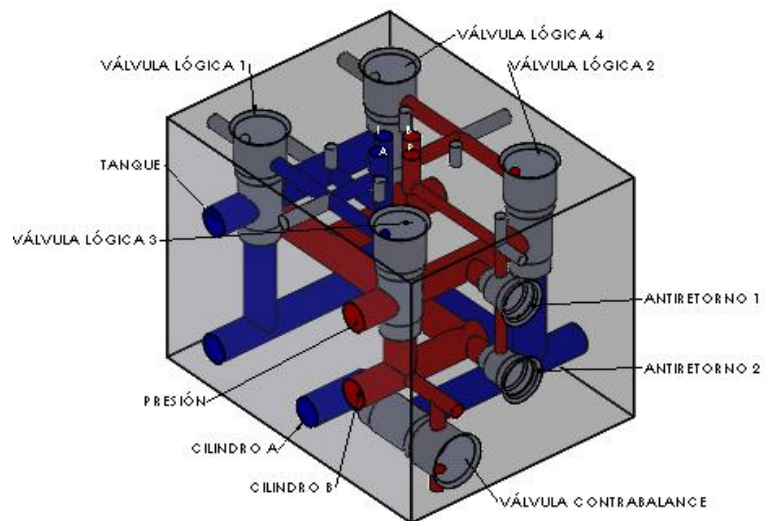
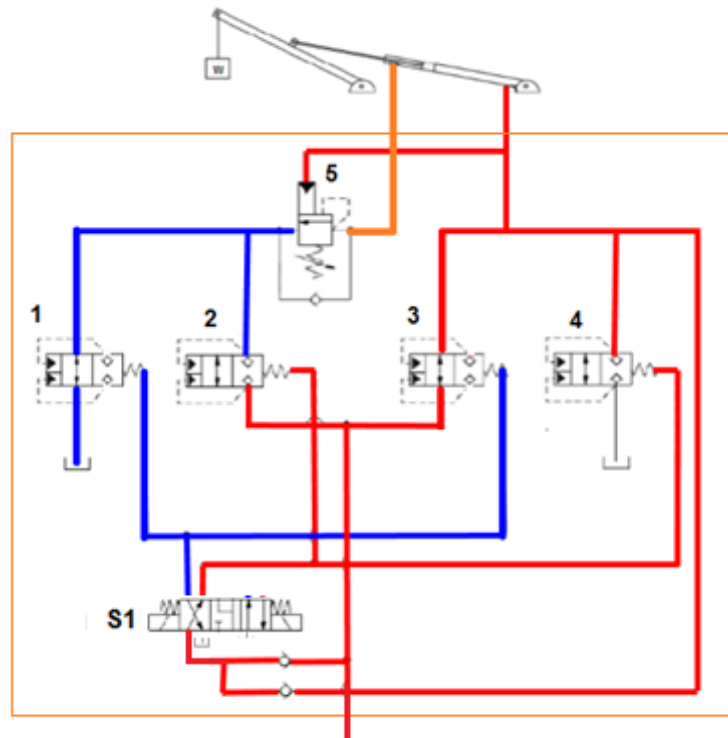
5.2.9. Conexión subiendo la carga

Figura 28. Conexión subiendo la carga



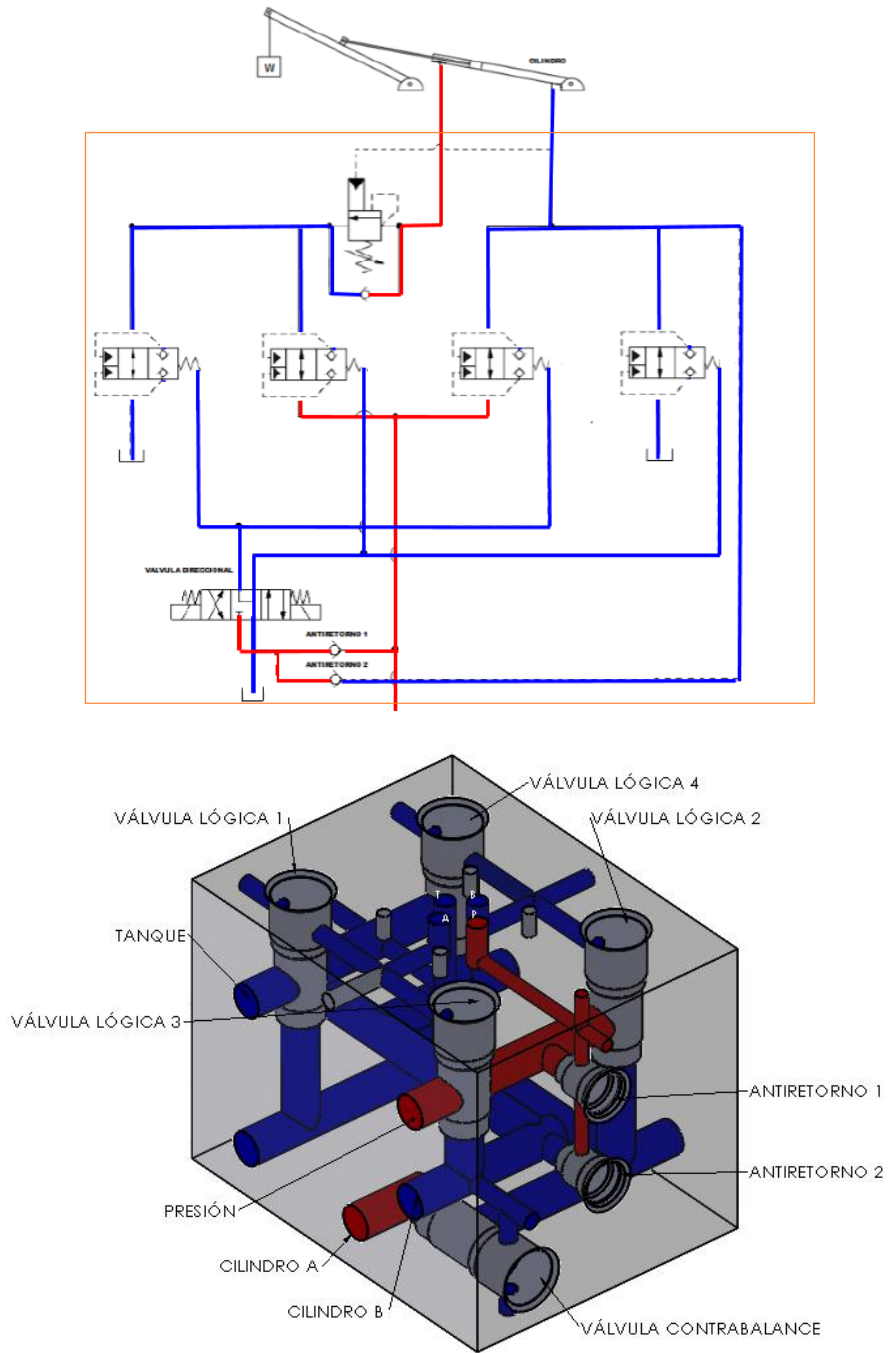
5.2.10. Conexión bajando la carga

Figura 29. Conexión bajando la carga



5.2.11. Conexión sosteniendo la carga

Figura 30. Conexión sosteniendo la carga



5.3. SELECCION DEL MATERIAL PARA EL BLOQUE DEL MANIFOLD

Para la selección del material de construcción del manifold se tienen en cuenta las siguientes características:

- Alto límite de fluencia.
- Bajo peso.
- Maquinabilidad.
- Resistencia a la corrosión.
- Alta conductividad térmica.
- Alta resistencia a la tracción.

Entre los materiales que cumplen con las características requeridas anteriormente, encontramos aleaciones de acero y de aluminio.

Figura 31. Comparación propiedades de varios materiales

ESPESOR	40 mm		100 mm	
	Resistencia a la tracción (Mpa)	Límite de fluencia (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Límite de fluencia (Mpa)
ALUMOLD 500	560 a 620	510 a 570	550 a 610	500 a 560
Acero SAE 1045 Normalizado	630	345	620	325
Acero SAE 1045 Tratado	1400	1100	1320	1050
Acero P 20 Bonificado	1080	945	1080	945

Fuente: Compañía general de aceros.

Se seleccionó el “ALUMOLD 500 T6-51” teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas las cuales cumplen para ser el material adecuado para el bloque del manifold. Las especificaciones de las propiedades mecánicas y físicas del material según las dimensiones del bloque (120 x 157 x 120) son:

Figura 32. Propiedades mecánicas según el espesor

ESPESOR EN MM	Valores mínimos			Valores típicos			
	Resistencia a la tracción (Mpa)	Límite de fluencia (Mpa)	A %	Resistencia a la tracción (Mpa)	Límite de fluencia (Mpa)	A %	HBS
25 ≤ A ≤ 76.2	560	510	5	590	540	10	190
76.2 < A ≤ 127	550	500	4	580	530	6	185
127 < A ≤ 152.4	540	490	2.5	570	520	4	185
152.4 < A ≤ 203.2	525	480	1	555	510	2	180
203.2 < A ≤ 254	505	460	1	535	490	1.5	180
254 < A ≤ 305	470	435	0.5	510	470	1.5	175

Fuente: Compañía general de aceros.

Figura 33. Propiedades físicas del material

PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad kg/dm ³	2.83
Dilatación térmica entre (0 -100°C)	23.7 10 ⁻⁵ /°C
Conductividad térmica (0 -100°C)	153 (W/m°C)
Calor específico(0 -100°C)	857 J/kg°C
Módulo de elasticidad	72.000 MPa
Módulo de compresión	73.000 MPa
Coefficiente de "Poisson"	0.33
Intervalo de fusión	475 – 630°C

Fuente: Compañía general de aceros.

De estas propiedades se tiene en cuenta el valor mínimo del límite de fluencia para un espesor de 152.4 < a < 203.2 ya que en el bloque la máxima longitud se encuentra en este rango.

$$S_y = 480 \text{ Mpa} = 69618 \text{ psi}$$

5.4. SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DEL MANIFOLD (CAD)

El manifold es diseñado bajo el criterio de altas presiones aplicadas en ductos pequeños. Se usa la herramienta CAD SolidWorks Simulation 2015, mediante el análisis de elementos finitos, buscando observar el comportamiento aproximado del manifold cuando es sometido a condiciones de presión.

Se tiene en cuenta que el programa no tiene el material que se escogió previamente, por lo tanto en la simulación usaremos la aleación de aluminio 7050-T7451 que cuenta con las siguientes propiedades físicas y mecánicas:

Figura 34. Propiedades del material seleccionado

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	7.2e+010	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.69e+010	N/m ²
Densidad de masa	2830	kg/m ³
Límite de tracción	525000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	470000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	2.36e-005	/K
Conductividad térmica	157	W/(m·K)
Calor específico	860	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Fuente: SolidWorks 2015

Ya que el ALUMOLD 500 T6-51 tiene un límite elástico 480 Mpa mayor al del aluminio 7050-T7451 que es 470 Mpa es de considerar que el comportamiento del bloque va hacer mucho más eficiente al presentado a continuación. Las otras propiedades del material permanecen constantes.

5.4.1. Enmallado del manifold

Para la realización del análisis estructural en el manifold el cual consiste en ejecutar SolidWorks Simulation 2015, donde se especifica el tipo de material, Aleación de Aluminio 7050-T7451, se determina el tipo de enmallado sobre la pieza, una vez hecho esto se definen las condiciones de carga sobre el material.

Figura 35. Propiedades del material

Propiedades de material	
Propiedades	
Nombre:	7050-T7451
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Desconocido
Límite elástico:	68167.7 psi
Límite de tracción:	76144.8 psi
Módulo elástico:	1.04427e+007 psi
Coefficiente de Poisson:	0.33
Densidad:	0.10224 lb/in ³
Módulo cortante:	3.90152e+006 psi
Coefficiente de dilatación térmica:	1.33333e-005 /Fahrenheit

Fuente: SolidWorks 2015

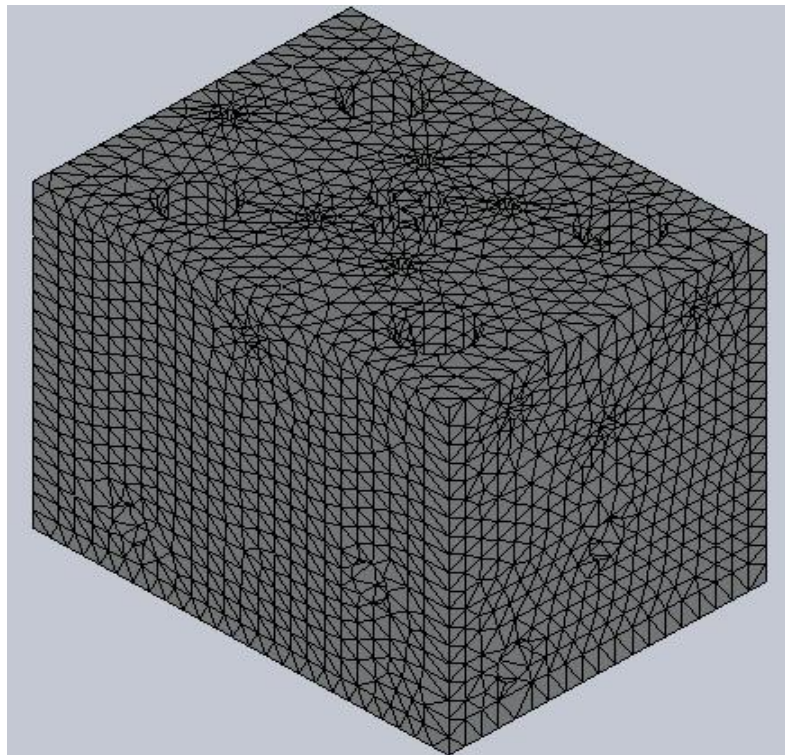
El software realizó un enmallado tetraédrico con número total de nodos 122409 representado un total de 83964 elementos.

Figura 36. Información de malla

Información de malla	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	6.33615 mm
Tolerancia	0.316808 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	122409
Número total de elementos	83964
Cociente máximo de aspecto	30.995
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	96.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.434
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

Fuente: SolidWorks 2015

Figura 37. Enmallado

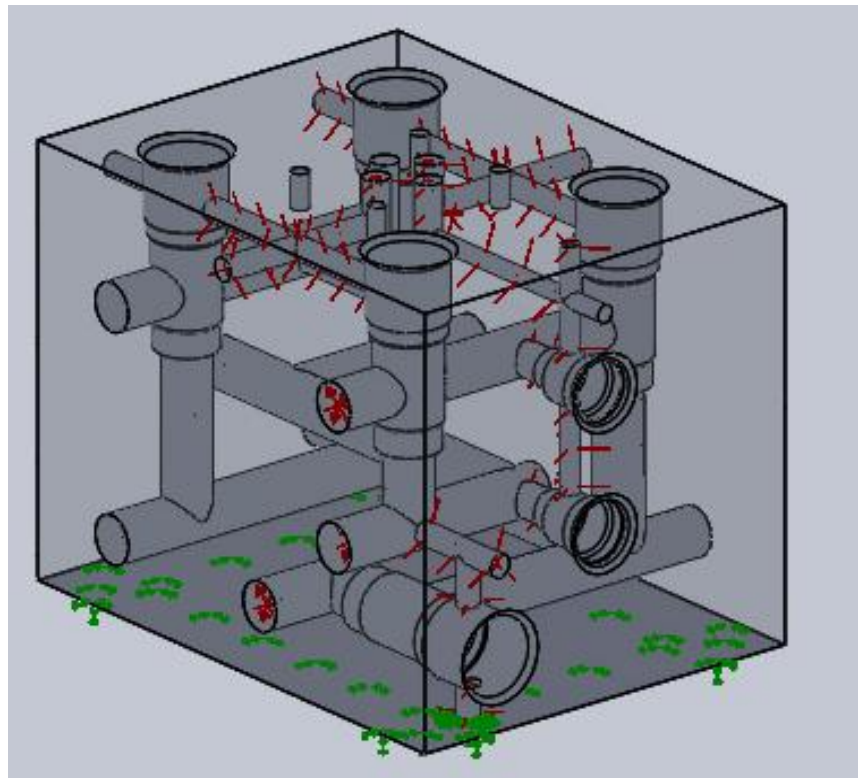


Fuente: SolidWorks 2015.

5.4.2. Presión aplicada en las superficies internas

Para las condiciones de carga en las superficies internas en los conductos del manifold, se aplica una presión dos veces mayor a la presión de operación en el sistema, garantizando un diseño seguro en caso de que ocurra una sobre presión. La presión usada es igual a 3600 psi, se analiza el comportamiento de presión cuando la carga permanece suspendida.

Figura 38. Presión aplicada

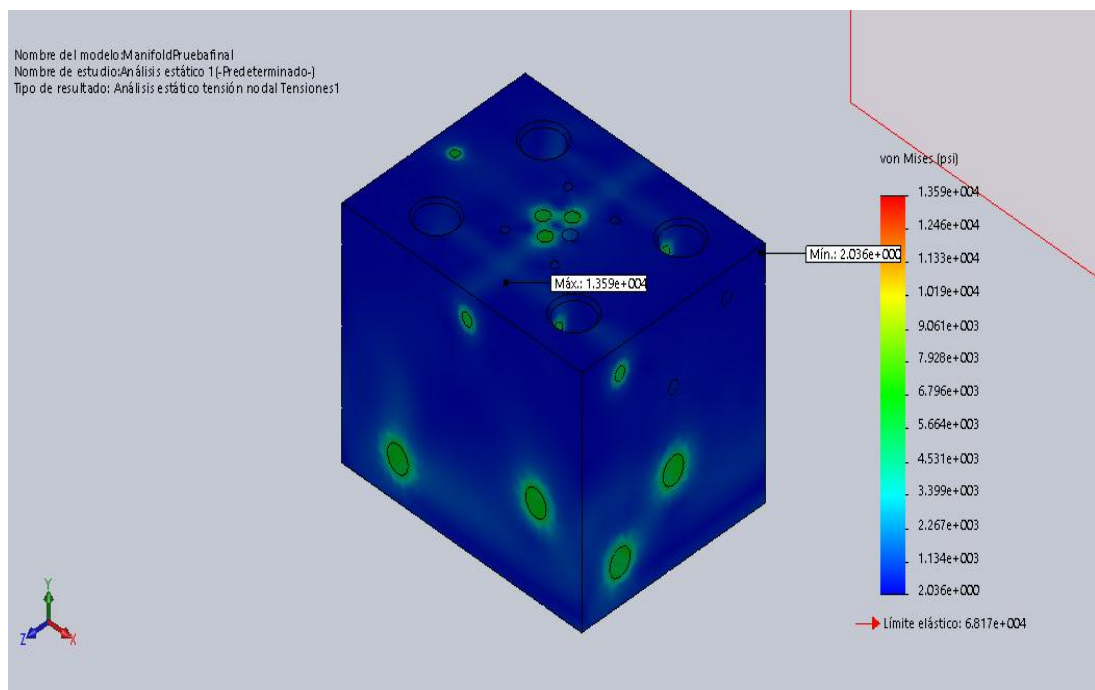


Fuente: SolidWorks 2015 simulation.

5.4.3. Análisis de esfuerzos

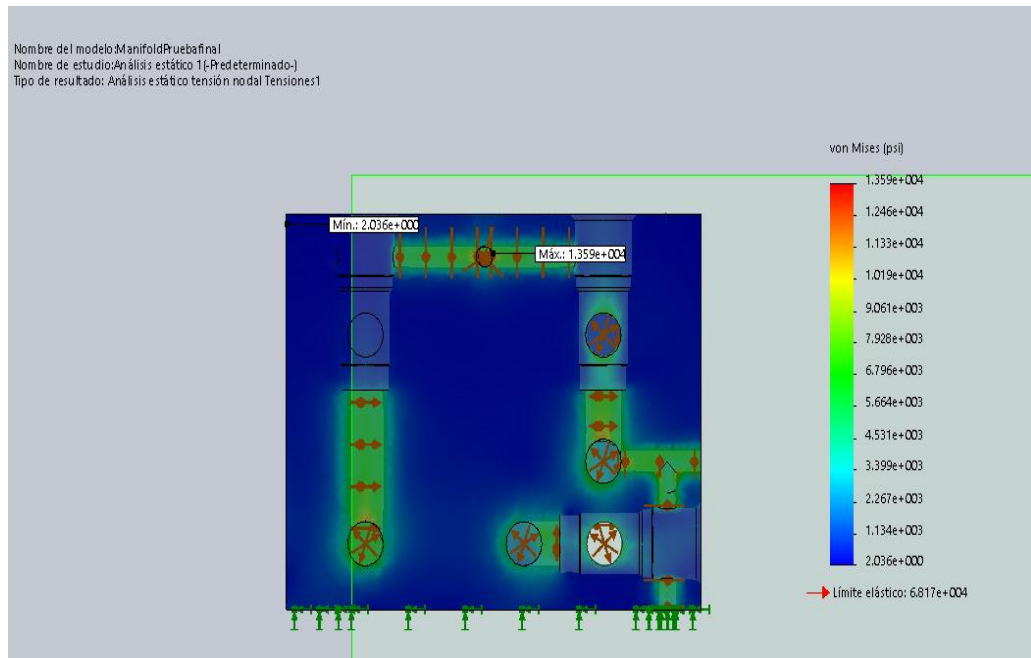
En el análisis realizado por el software al manifold, se obtuvieron valores de esfuerzos máximo de 13590.2 psi que se encuentra en el conducto que une los pilotajes de los elementos lógicos 1 y 3 con el puerto "A" de la válvula direccional. Y esfuerzo mínimo de 2.03 psi, en una de las esquinas del manifold.

Figura 39. Vista isométrica del análisis de esfuerzos



Fuente: SolidWorks 2015 simulation.

Figura 40. Corte del manifold de análisis de esfuerzos

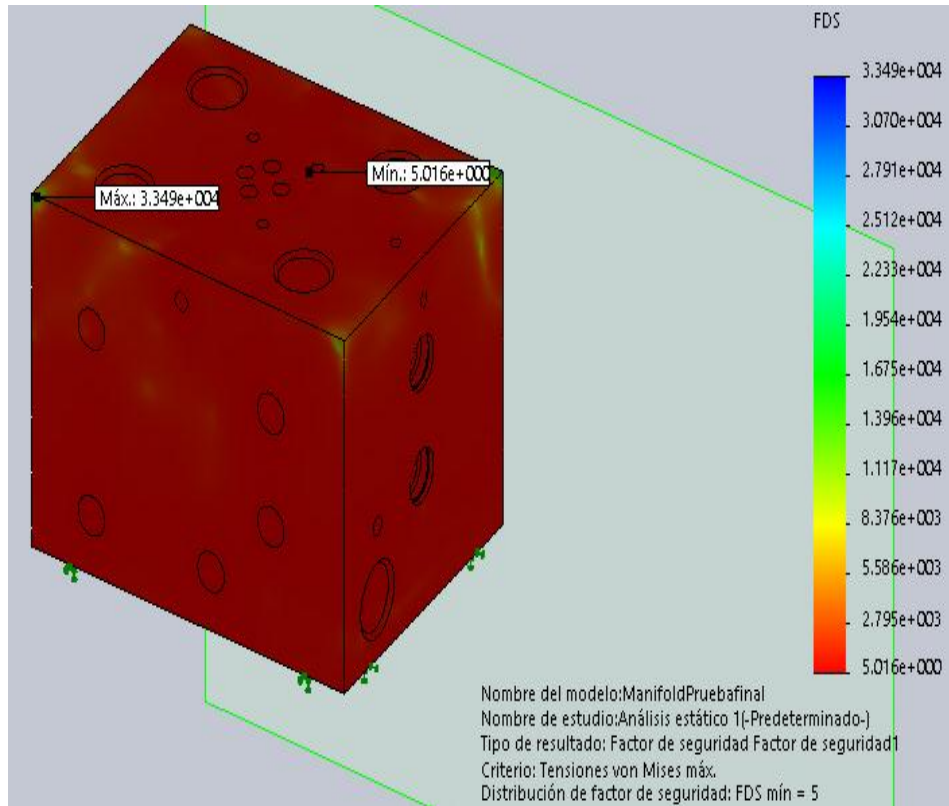


Fuente: SolidWorks 2015 simulation.

5.4.4. Factor de seguridad

La simulación usa el criterio de tensiones de Von Mises para calcular el factor de seguridad el cual da un valor mínimo de 5, para una presión interna de 3600 en el manifold.

Figura 41. Factor de seguridad

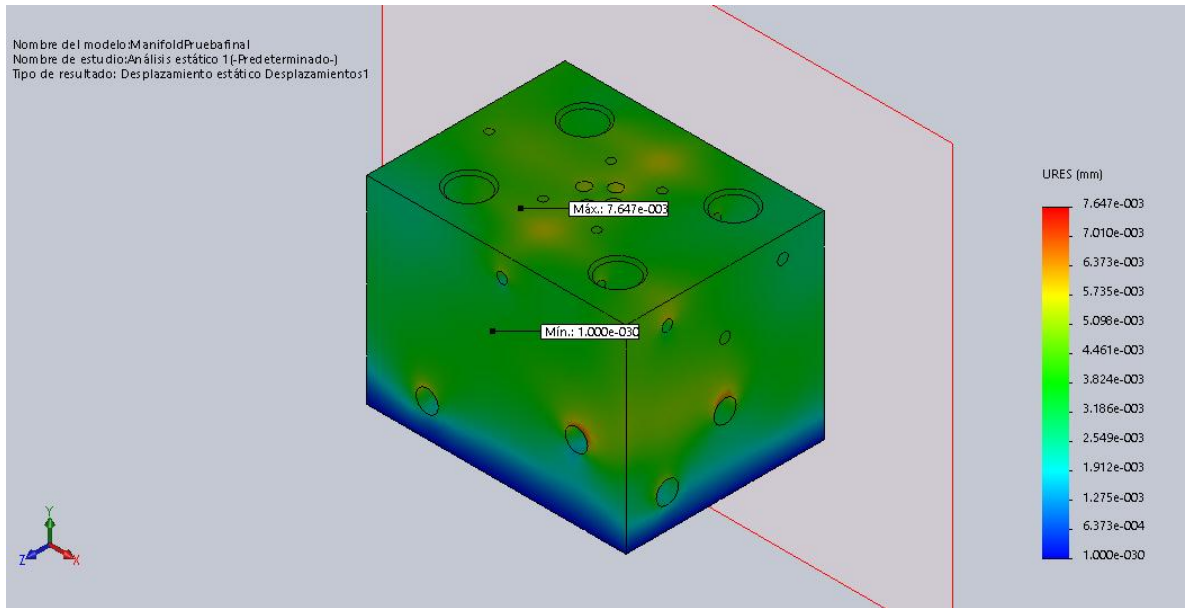


Fuente: SolidWorks 2015 simulation.

5.4.5. Análisis de desplazamientos y deformaciones unitarias

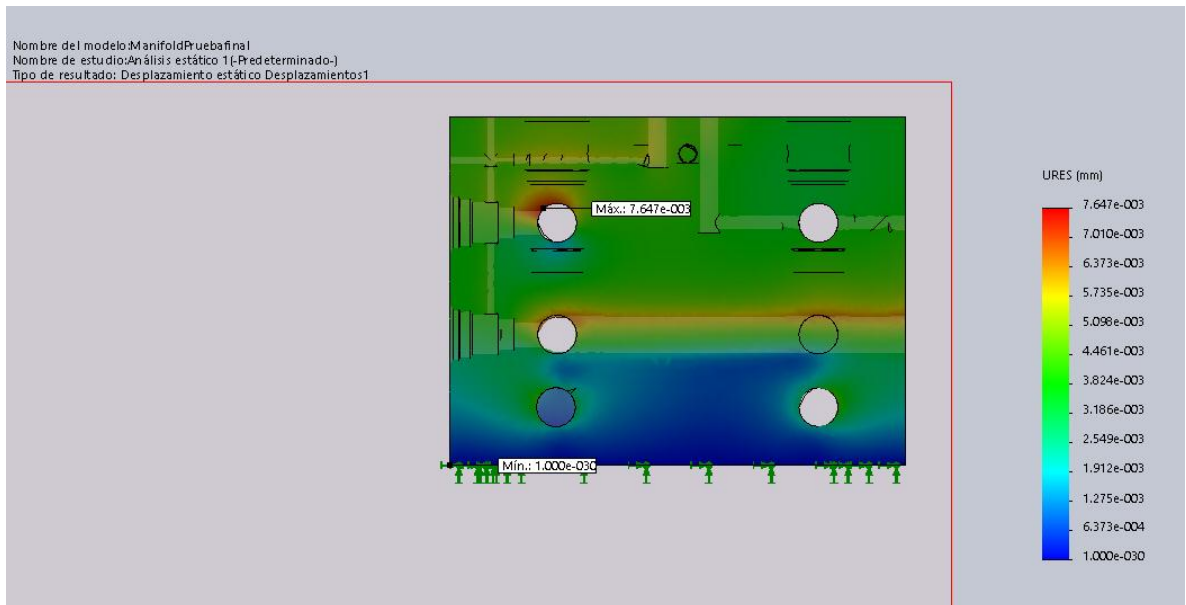
En este análisis estructural se logra determinar y recolectar datos sobre el comportamiento de las deformaciones del manifold, se observa que los desplazamientos y deformaciones obtenidos son relativamente bajos en orden de $7.647e-3$ mm, mostrando que no afectara el funcionamiento, ni el desempeño en operación del sistema.

Figura 42. Vista isométrica de desplazamiento



Fuente: SolidWorks 2015 simulation.

Figura 43. Corte punto crítico



Fuente: SolidWorks 2015 simulation.

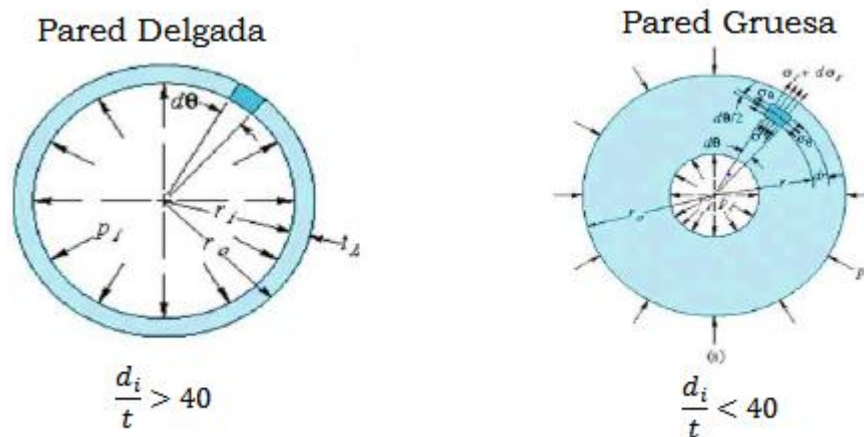
5.5. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Para calcular el factor de seguridad en el manifold se selecciona una situación de alto grado de criticidad a la cual podría ser sometido. Para este cálculo se emplea la teoría de diseño de cilindros de pared delgada y gruesa sometidos a presión. Los conductos del manifold tiene el mismo comportamiento de un cilindro que conduce un fluido a alta presión, presentando esfuerzos radiales y tangenciales.

Es necesario conocer los diámetros internos (diámetro del conducto en el manifold) y diámetros externos (distancia mínima entre los conductos o una cara del manifold).

Se considera la relación entre el diámetro interno y el espesor para la determinación del tipo de teoría a aplicar.

Figura 44. Criterio pared gruesa - delgada



Fuente: Resistencia de materiales – Singer.

Las ecuaciones utilizadas para los cálculos de esfuerzos en cilindros huecos con presión interna son:

Esfuerzos radiales

$$\sigma_r = \frac{-a^2 p \left(\frac{b^2}{r^2} - 1 \right)}{b^2 - a^2}$$

Esfuerzos tangenciales

$$\sigma_\theta = \frac{a^2 p \left(\frac{b^2}{r^2} + 1 \right)}{b^2 - a^2}$$

El esfuerzo normal máximo es el evaluado cuando la superficie interior $r=a$.

Simplificando las ecuaciones de esfuerzo tangencial y radial:

$$\sigma_r = -p \quad \sigma_\theta = p \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} \right)$$

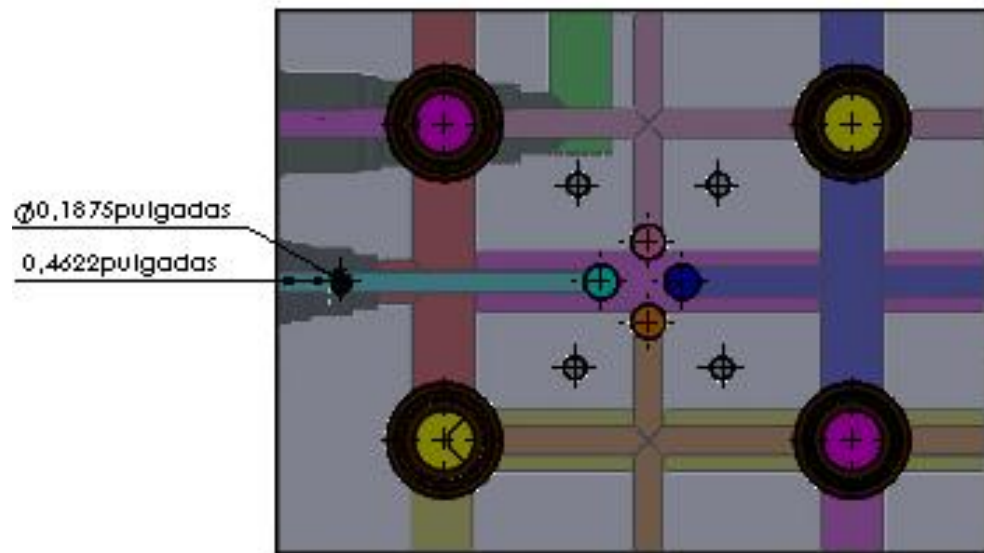
$$a = \frac{d}{2} \quad b = a + t$$

La presión máxima utilizada en el banco de la pluma es de 2000 psi la cual es la presión de taraje en la válvula de seguridad del banco, usando un factor de servicio de 1.8 aumenta la presión interna a 3600 psi.

Se definen los puntos críticos para determinar un factor de seguridad, con el modelo del manifold establecido en SOLIDWORKS, se obtienen los datos necesarios para el cálculo del factor de seguridad.

5.5.1. Punto crítico 1

Figura 45. Punto crítico 1



- **Datos del punto crítico 1**

- ✓ Diámetro interno (d): $d = 0.1875$ in.
- ✓ Espesor (t): $t = 0.4622$ in.
- ✓ Radio interno (a): $a = 0.09375$ in.
- ✓ Radio externo (b): $b = 0.55595$ in .
- ✓ Presión interna (P): $P = 3600$ psi.
- ✓ limite de fluencia (S_y): $S_y = 69618$ psi.

Reemplazando los valores:

$$\sigma_{\theta} = P_i \left(\frac{b^2+a^2}{b^2-a^2} \right); \quad \sigma_r = -P_i; \quad \sigma_t = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_{\theta}^2}.$$

$$\sigma_{\theta} = 3600 \left(\frac{0.55595^2 + 0.09375^2}{0.55595^2 - 0.09375^2} \right)$$

$$\sigma_{\theta} = 3811. \text{ psi}$$

$$\sigma_r = -3600 \text{ psi}$$

$$\sigma_t = \sqrt{(-3600)^2 + 3811^2}$$

$$\sigma_t = 5242 \text{ psi}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_t} = \frac{69618}{4578.72}$$

$$N = 13.28$$

Se realiza el mismo cálculo para cada uno de los puntos críticos encontrados.
Buscando su factor de seguridad.

5.5.2. Punto crítico 2

Figura 46. Punto crítico 2

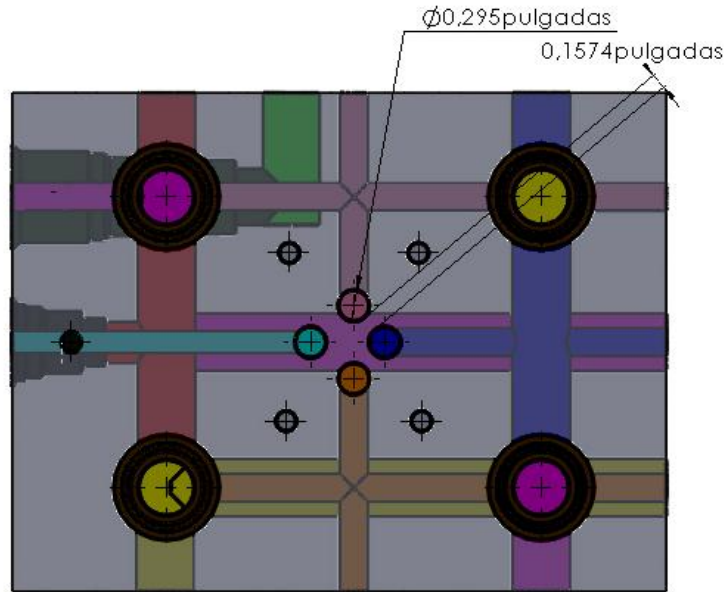


Figura 47. Resultados punto crítico 2

Datos	Valor	Unidades
Diámetro interno	0.295	in
Espesor	0.1575	in
Radio interno	0.1476	in
Radio externo	0.3051	in
Presión interna	3600	psi
Limite de fluencia (Sy)	69618	psi
Resultados del calculo		
Esfuerzo radial	-3600	psi
Esfuerzo tangencial	5801	psi
Esfuerzo total	6827	psi
Factor de seguridad	10.2	-

5.5.3. Punto crítico 3

Figura 48. Punto crítico 3

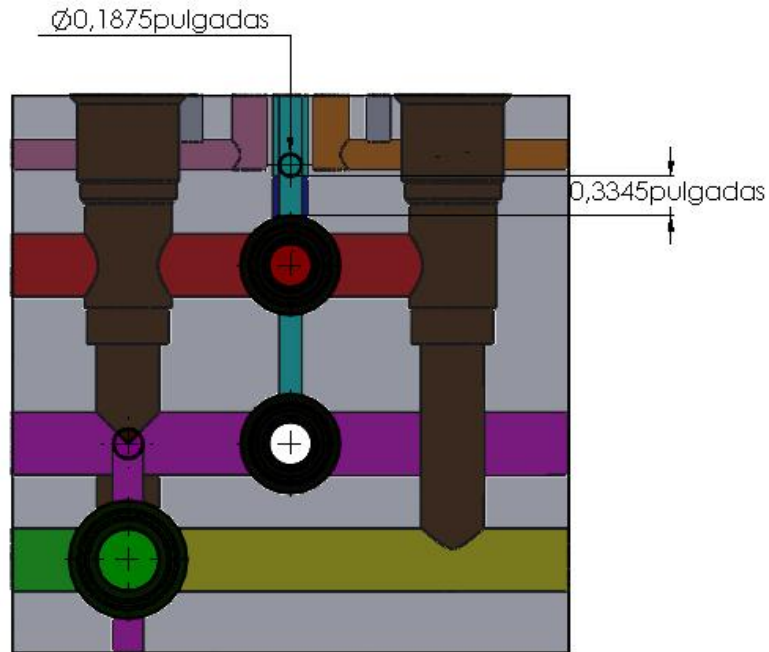


Figura 49. Resultados punto crítico 3

Datos	Valor	Unidades
Diámetro interno	0.1875	In
Espesor	0.3345	In
Radio interno	0.09375	In
Radio externo	0.4283	In
Presión interna	3600	psi
Limite de fluencia (Sy)	69618	psi
Resultado del cálculo		
Esfuerzo radial	-3600	psi
Esfuerzo tangencial	3962	psi
Esfuerzo total	5353	psi
Factor de seguridad	13	-

5.5.4. Punto crítico 4

Figura 50. Punto crítico 4

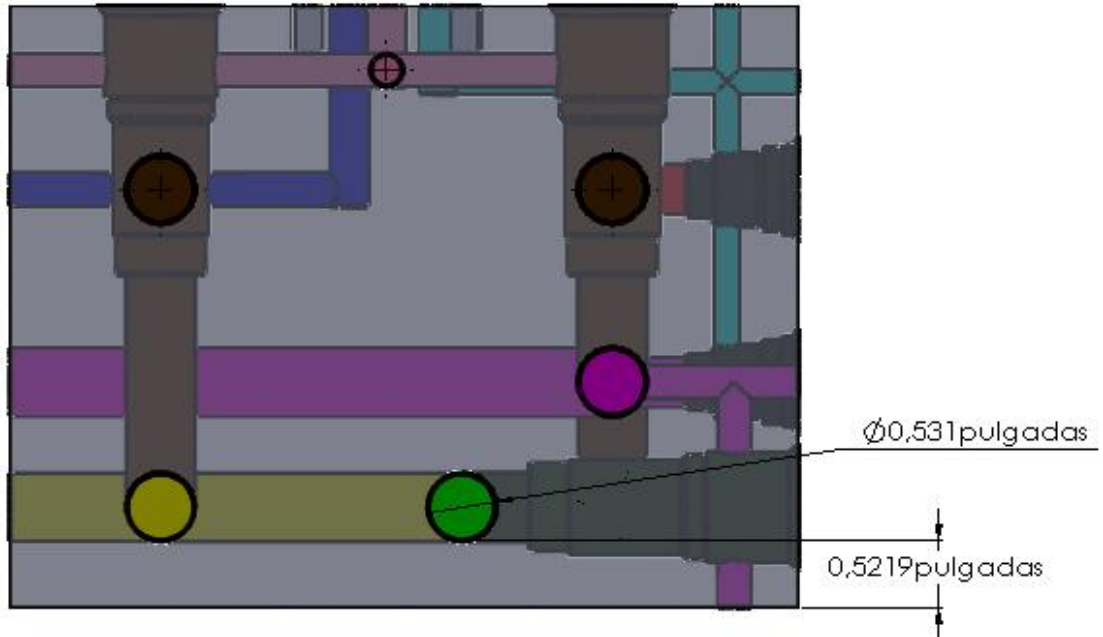


Figura 51. Resultados punto crítico 5

Datos	Valor	Unidades
Diámetro interno	0.531	in
Espesor	0.5219	in
Radio interno	0.2656	in
Radio externo	0.7874	in
Presión interna	3600	psi
Limite de fluencia (S_y)	69618	psi
Resultado del cálculo		
Esfuerzo radial	-3600	psi
Esfuerzo tangencial	4524	psi
Esfuerzo total	5782	psi
Factor de seguridad	13.49	-

5.5.5. Punto crítico 5

Figura 52. Punto crítico 5

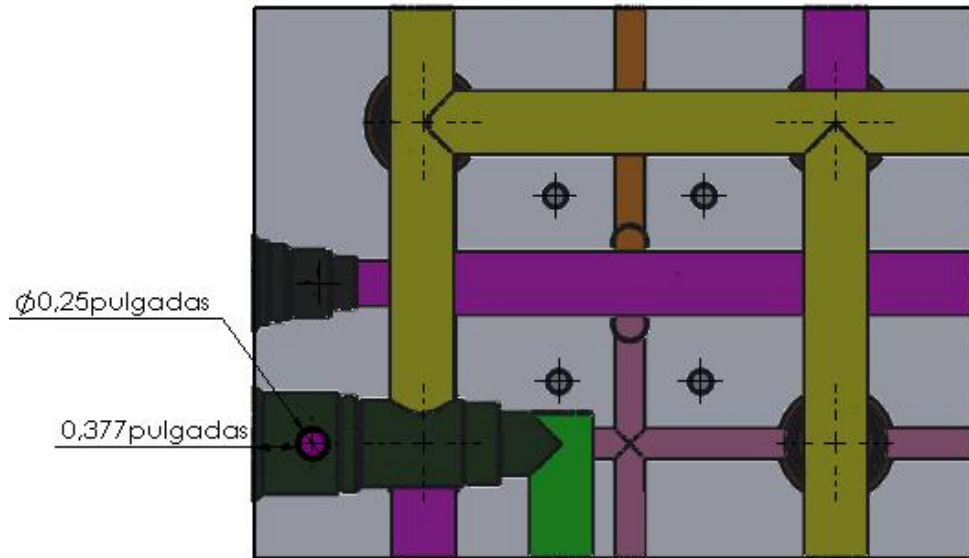


Figura 53. Resultados punto crítico 5

Datos	Valor	Unidades
Diámetro interno	0.25	in
Espesor	0.377	in
Radio interno	0.125	in
Radio externo	0.502	in
Presión interna	3600	psi
Limite de fluencia (Sy)	69618	psi
Resultado del cálculo		
Esfuerzo radial	-3600	psi
Esfuerzo tangencial	4076	psi
Esfuerzo total	5438	psi
Factor de seguridad	12.8	-

5.5.6. Punto crítico 6

Figura 54. Punto crítico 6

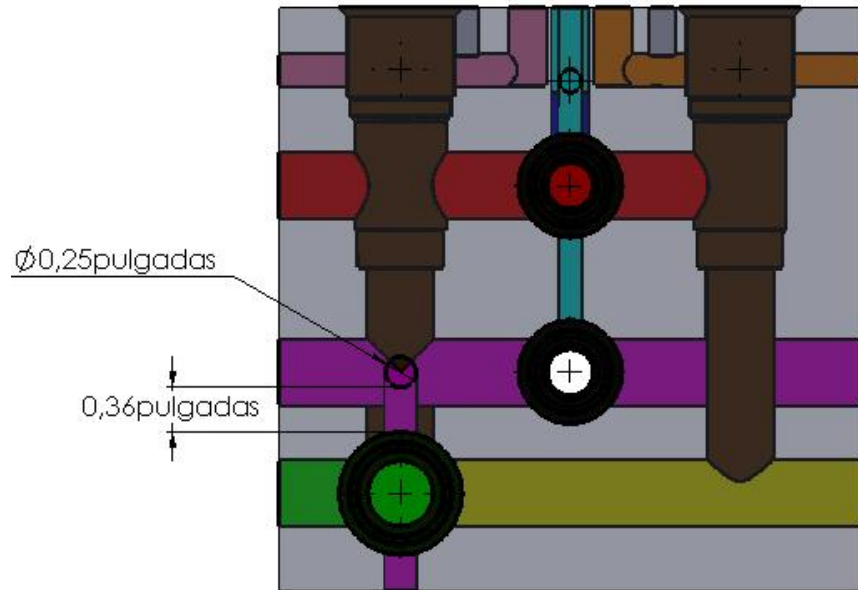


Figura 55. Resultados punto crítico 6

Datos	Valor	Unidades
Diámetro interno	0.25	in
Espesor	0.3593	in
Radio interno	0.125	in
Radio externo	0.4843	in
Presión interna	3600	psi
Limite de fluencia (Sy)	69618	psi
Resultado del cálculo		
Esfuerzo radial	-3600	psi
Esfuerzo tangencial	4114	psi
Esfuerzo total	5467	psi
Factor de seguridad	12.73	-

Figura 56. Comparación resultados factor de seguridad

Factor de seguridad	
Punto crítico 1	13.8
Punto crítico 2	10.2
Punto crítico 3	13
Punto crítico 4	13.49
Punto crítico 5	12.8
Punto crítico 6	12.73

Realizando un análisis a los puntos críticos anteriormente identificados se logra determinar que los factores de seguridad son mayores al mínimo que se encontró en la simulación en la sección 5.4.4, garantizando que el material va a cumplir con las condiciones requeridas.

5.6. DETERMINACIÓN DE REGIMEN DE FLUJO

Se define como régimen de flujo al comportamiento del movimiento de un fluido a través de una tubería o conducto. Cuando el fluido circula por una tubería lo puede hacer en régimen laminar o en régimen turbulento, la diferencia entre estos regímenes es el comportamiento de las partículas que fluyen, dependiendo del balance de fuerzas de inercia, fuerzas viscosas o de rozamiento.

La caracterización de cada uno de estos regímenes se define por medio del número de Reynolds, el cual expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en el interior de una corriente.

Se considera régimen laminar a un flujo en el cual los líquidos se muevan siempre a lo largo de una trayectoria uniforme, ya sea en capas o laminas con el mismo sentido de dirección y magnitud. Por el contrario en el régimen turbulento las partículas se muevan de una forma errática siguiendo trayectorias desordenadas con torbellinos, logrando que las capas del flujo avancen de una forma mucho más rápida.

El número de Reynolds es expresado en función del caudal (Q), del diámetro (D) y de la viscosidad cinemática (ν).

$$R_e = \frac{4 * Q}{\pi * \nu * D}$$

Para los cálculos de régimen de flujo se tiene que:

$$Q = 6 [gpm] = 0.0003785 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\nu = 4.6 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Para un diámetro igual a $D = 0.004765[m]$

Calculando el número de Reynolds

$$R_e = \frac{4 * 0.0003785}{\pi * 4.6 * 10^{-5} * 0.0047625} = 220$$

$$R_e = 2200$$

Figura 57. Resultados número de Reynolds

Diámetro [m]	Numero de Reynolds
0.0047625	2200
0.00635	1650
0.0075	1397
0.0135	776.1

5.7. PERDIDA TOTAL DE PRESION

Las pérdidas de presión se generan por el paso del fluido a través de los diferentes componentes (válvulas, reducciones, acoples, etc.). Para determinar la caída de presión total a través del manifold con un comportamiento laminar como se calculó anteriormente se debe realizar la suma de las diferentes pérdidas producidas en cada tramo y secciones del manifold. Se determina la pérdida en las líneas internas del manifold y la pérdida en los accesorios con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta P = \rho * h_{Total}$$

$$h_{Total} = h_{Tuberia} + h_{acc}$$

$$h_{Tuberia} = 32 \frac{L * \bar{V}^2}{Re * D * g}$$

$$h_{acc} = \sum K \frac{\bar{V}^2}{2 * g}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido hidráulico

$h_{Tuberia}$ = Perdidas en conductos internos

h_{acc} = Perdidas en accesorios

L = Longitud

D = Diametro del conducto

g = gravedad

\bar{V} = Velocidad media

Re = Numero de Reynolds

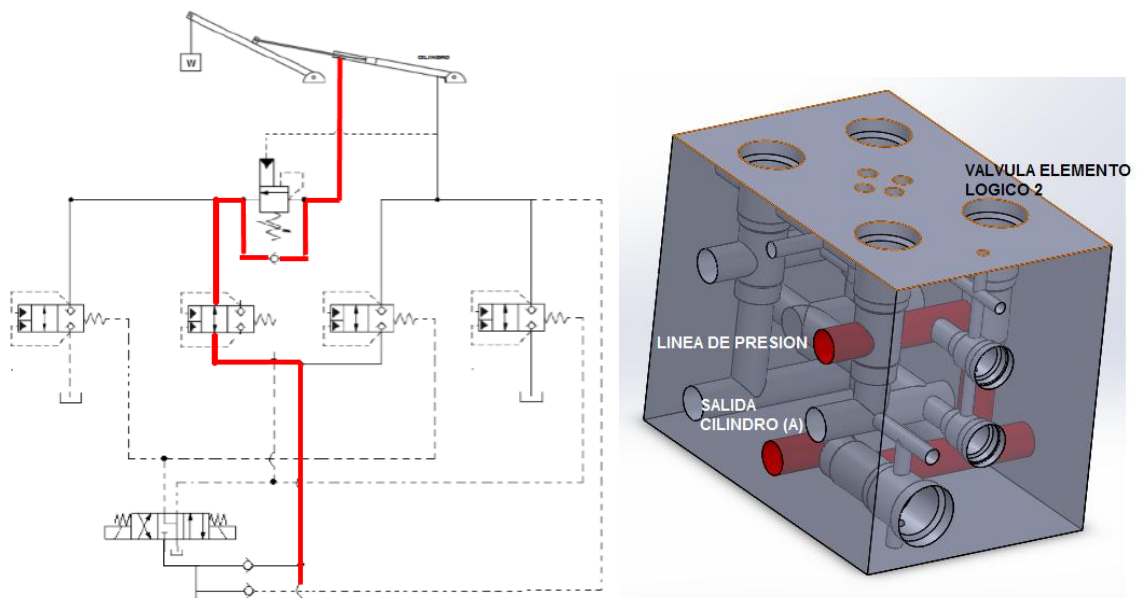
K = Factor de accesorio

El cálculo de la caída de presión se va a realizar al momento de elevar y descender la carga, ya que en estas situaciones es donde se presenta el máximo caudal circulando por el manifold.

5.7.1. Cálculo de la caída de presión en el ascenso de la carga

Se analizó el recorrido que lleva a cabo el fluido desde el momento que entra al manifold y llega a la salida del cilindro para realizar su función de elevar la carga, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 58. Recorrido del fluido hidráulico en el ascenso de la carga



➤ **PERDIDAS EN LAS LINEAS**

Todos los conductos internos que recorre el fluido en el ascenso de la carga poseen el mismo diámetro.

$$D = 0.01349 \text{ [m]}$$

$$Re = 776.1$$

$$\rho = 872 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$g = 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$Q = 6 \text{ [gpm]} = 3.785 * 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Figura 59. Longitudes de cada tramo elevando la carga

Tramo	Longitud [m]
1	0.08568
2	0.04465
3	0.06069
4	0.03175

Conociendo todos los valores de los diferentes tramos de tubería es posible calcular la longitud total

$$L_{Total} = 0.2228 \text{ [m]}$$

Se procede a determinar la velocidad media del fluido durante su recorrido

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

$$V = \frac{3.785 * 10^{-4}}{\frac{\pi}{4} * (0.01349)^2} = 2.65 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Reemplazando los valores para determinar h

$$h_{Tuberia} = 32 \frac{0.2228 * 2.65^2}{776.1 * 0.01349 * 9.81} = \mathbf{0.4869 [m]}$$

➤ PERDIDAS EN ACCESORIOS

Para determinar la constante de pérdidas de cada accesorio se utilizó la tabla del libro de CRANE (Anexo G).

Conexión en T flujo desviado 90°:

$$K_1 = 4.948$$

Codo de 90°:

$$K_2 = 2.474$$

Teniendo los valores de las respectivas constantes para los accesorios se reemplaza en la ecuación para pérdida por accesorios:

$$h_{acc} = (4.948 + 2.474) \frac{2.65^2}{2 * 9.81} = \mathbf{2.653 [m]}$$

$$h_{Total} = 0.4869 + 2.653 = 3.14 [m]$$

$$\Delta P = 872 * 3.14 = \mathbf{2738 [Pa]}$$

$$\Delta P = \mathbf{0.3972 [psi]}$$

➤ **PERDIDAS EN VALVULA 2 TIPO ELEMENTO LOGICO**

Con el valor del caudal que circulo por la válvula se determinan las perdidas en la curva de caída de presión de la válvula (Anexo B).

$$\Delta P = 20 \text{ [psi]}$$

➤ **PERDIDAS EN VALVULA CONTRABALANCE**

Nuevamente haciendo uso de la curva de caída de presión de la válvula de contrabalance (Anexo D) determinamos su perdida.

$$\Delta P = 90 \text{ [psi]}$$

➤ **PERDIDAS EN EL BANCO**

El fluido antes de entrar al manifold recorre otros dispositivos y accesorios, lo cual genera una caída de presión la cual se determinó en:

$$\Delta P = 50 \text{ [psi]}$$

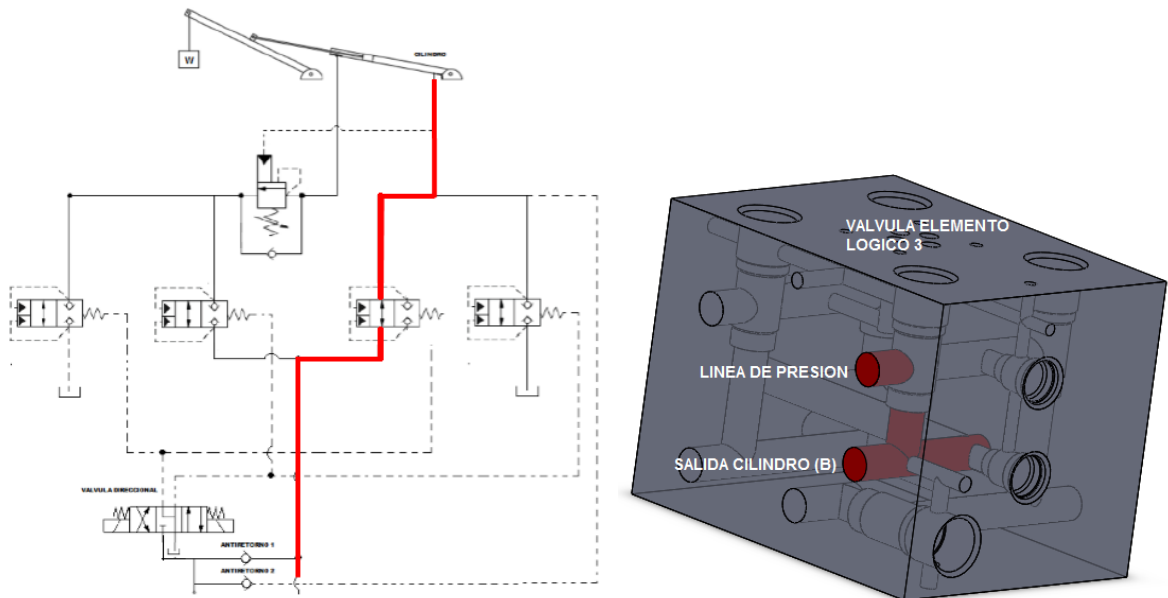
Caída de presión total elevando la carga:

$$\Delta P_{Total} = 0.3972 + 20 + 90 + 50 = 160.4 \text{ [psi]}$$

5.7.2. Cálculo de la caída de presión en el descenso de la carga

Las líneas rojas que se muestran en el circuito hidráulico corresponden al recorrido del fluido a través del manifold para realizar el descenso de la carga y es sobre este trayecto que se calculan las caídas de presión.

Figura 60. Recorrido del fluido hidráulico en el descenso de la carga



➤ **PERDIDAS EN LAS LINEAS**

Todos los conductos internos que recorre el fluido en el descenso de la carga poseen el mismo diámetro.

$$D = 0.01349 [m]$$

$$Re = 776.1$$

$$\rho = 872 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$g = 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$Q = 6 [gpm] = 3.785 * 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Figura 61. Longitudes de cada tramo descendiendo la carga

Tramo	Longitud [m]
1	0.01568
2	0.02151
3	0.025

Conociendo todos los valores de los diferentes tramos de tubería es posible calcular la longitud total

$$L_{Total} = 0.06219 [m]$$

Se procede a determinar la velocidad media del fluido durante su recorrido

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

$$V = \frac{3.785 * 10^{-4}}{\frac{\pi}{4} * (0.01349)^2} = 2.65 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Reemplazando los valores para determinar h

$$h_{Tuberia} = 32 \frac{0.06219 * 2.65^2}{776.1 * 0.01349 * 9.81} = 0.1359 [m]$$

➤ PERDIDAS EN ACCESORIOS

Para determinar la constante de pérdidas de cada accesorio se utilizó la tabla del libro de CRANE (Anexo G).

Conexión en T flujo desviado 90°:

$$K_1 = 4.948$$

Teniendo los valores de las respectivas constantes para los accesorios se reemplaza en la ecuación para pérdida por accesorios:

$$h_{acc} = 4.948 * \frac{2.65^2}{2 * 9.81} = 1.769 [m]$$

$$h_{Total} = 0.1359 + 1.769 = 1.905 [m]$$

$$\Delta P = 872 * 1.905 = 1661 [Pa]$$

$$\Delta P = 0.2409 [psi]$$

➤ **PERDIDAS EN VALVULA 3 TIPO ELEMENTO LOGICO**

Con el valor del caudal que circulo por la válvula se determinan las perdidas en la curva de caída de presión de la válvula (Anexo B).

$$\Delta P = 20 [psi]$$

➤ **PERDIDAS EN EL BANCO**

El fluido antes de entrar al manifold recorre otros dispositivos y accesorios, lo cual genera una caída de presión la cual se determinó por un valor de:

$$\Delta P = 50 [psi]$$

Caída de presión total bajando la carga:

$$\Delta P_{Total} = 0.2409 + 20 + 50 = 70.24 [psi]$$

5.8. ANALISIS DE FLUJO INTERNO

El análisis de flujo interno en el manifold se logró mediante el software SolidWorks, por medio del complemento Flow Simulation 2015.

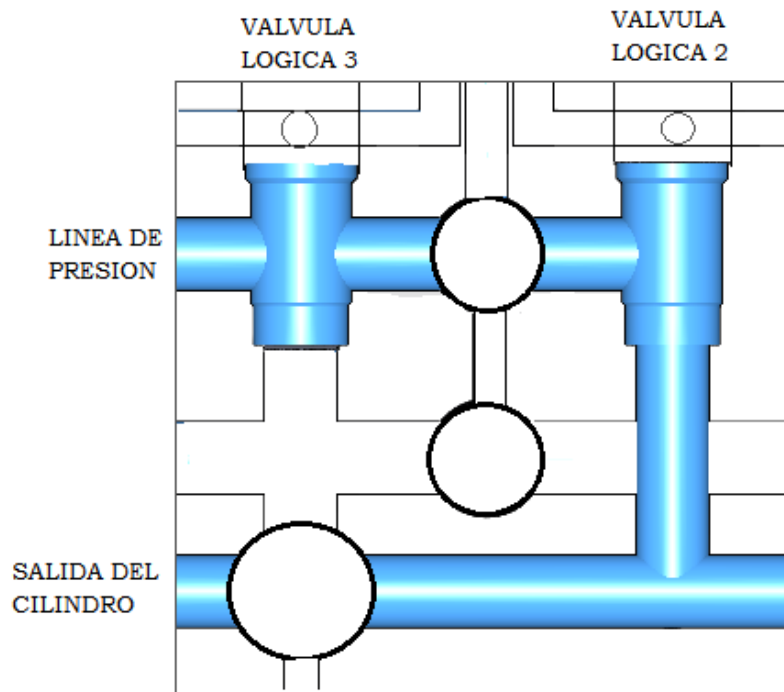
Se realiza este análisis para encontrar las velocidades que se van a presentar en los conductos internos del manifold en sus condiciones de operación, con el valor medido se calculara el número de Reynolds, con el fin de comparar los resultados teóricos obtenidos en el capítulo 5.6 para determinar el tipo de régimen al cual se comportara el fluido.

Como requisitos en el software se deben establecer los siguientes parámetros:

- Tipo de fluido interno (aceite hidráulico Shell Tellus)
- Fluido a caudal constante de (6 gpm).
- Presión en el sistema 1800 psi.

5.8.1. Análisis de simulación de fluidos subiendo la carga – Línea de presión

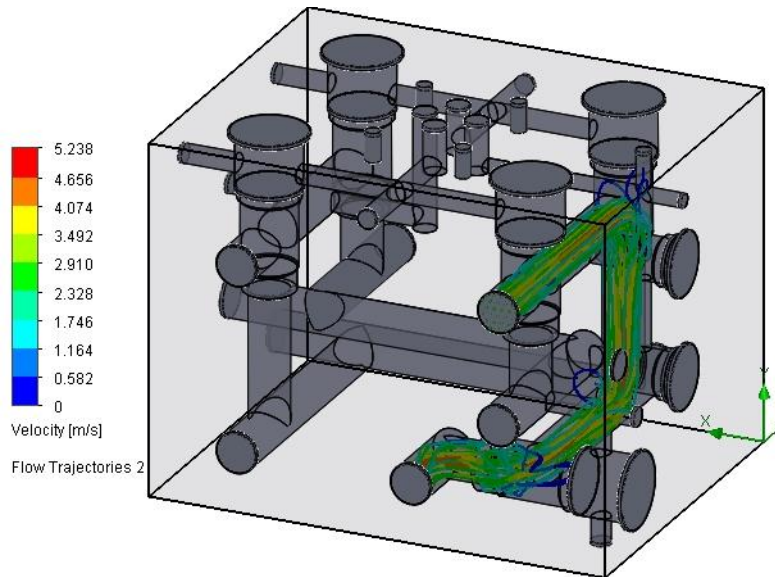
Figura 62. Recorrido del fluido de la línea de presión para elevar la carga



Fuente: Solidworks 2015 Flow Simulation

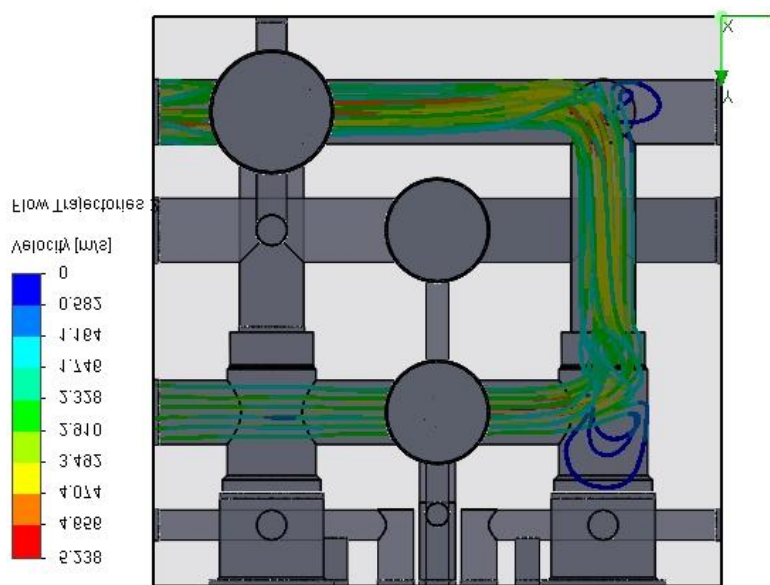
La simulación realizada determina el rango de velocidades que tendrá el fluido como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 63. Vista isométrica subiendo la carga



Fuente: Solidworks 2015 Flow Simulation.

Figura 64. Vista frontal subiendo la carga



Fuente: Solidworks 2015 Flow Simulation

La velocidad máxima del fluido hallada en la simulación es de 5.238 [m/s]. Se utilizara el promedio de esta velocidad para determinar el número de Reynolds buscando verificar el comportamiento interno del fluido, que circula por los ductos que unen las válvulas lógicas 2-3 con el puerto de presión y salida del cilindro.

$$\text{Velocidad media} = 2.619 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\text{Diámetro interno} = 0.0135 [m]$$

$$\text{Viscosidad cinemática} = 4.6 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right].$$

Numero de Reynolds

$$R_e = \frac{(D * V)}{\nu}$$

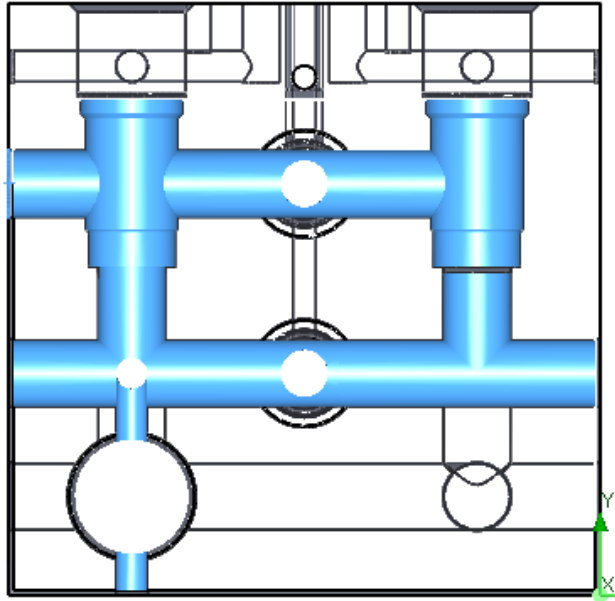
$$R_e = \frac{2.619 * 0.0135}{4.6 * 10^{-5}} = 768.62$$

$$R_e = 768.6$$

Se establece flujo laminar con un Reynolds de 768.2 en la simulación y Reynolds de 776.1 el cual se estableció en el capítulo 5.6 (Determinación de régimen de flujo).

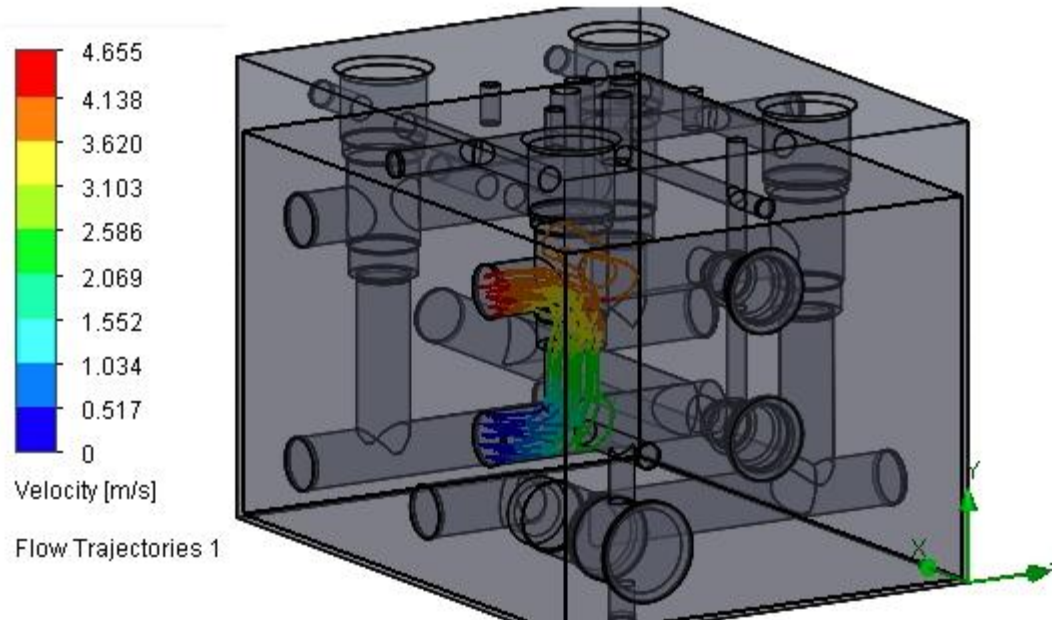
5.8.2. Análisis de simulación bajando la carga – Línea de presión

Figura 65. Recorrido del fluido de la línea de presión para descender la carga



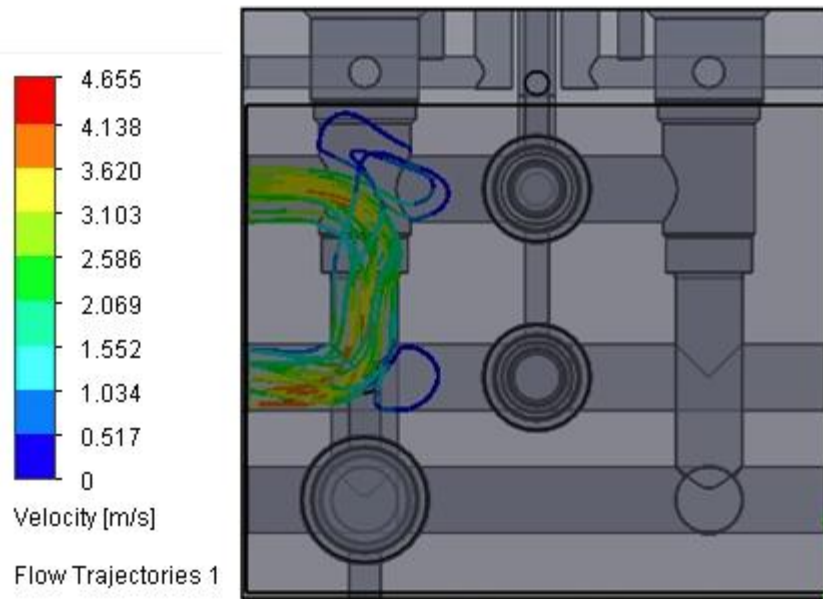
Fuente: Solidworks 2015 Flow Simulation

Figura 66. Vista isométrica descendiendo la carga



Fuente: Solidworks 2015 Flow Simulation

Figura 67. Vista frontal descendiendo la carga



Fuente: Solidworks 2015 Flow Simulation

La velocidad máxima del fluido hallada en la simulación cuando la carga desciende es de 4.655 m/s, se usara el promedio de esta velocidad para calcular el número de Reynolds buscando verificar el comportamiento interno del fluido, que circula por los ductos que unen las válvulas lógicas 3 con el puerto de presión y salida del cilindro.

$$\text{Velocidad media} = 2.3275 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Diámetro interno} = 0.0135 [\text{m}]$$

$$\text{Viscosidad cinemática} = 4.6 * 10^{-5} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

Numero de Reynolds

$$R_e = \frac{(D * V)}{\nu}$$

$$R_e = \frac{2.3275 * 0.0135}{4.6 * 10^{-5}} = 683.1$$

$$R_e = 683.1$$

Se establece flujo laminar con un Reynolds de 683.1 en la simulación y Reynolds de 776.1 el cual se estableció en el capítulo 5.6 (Determinación de régimen de flujo).

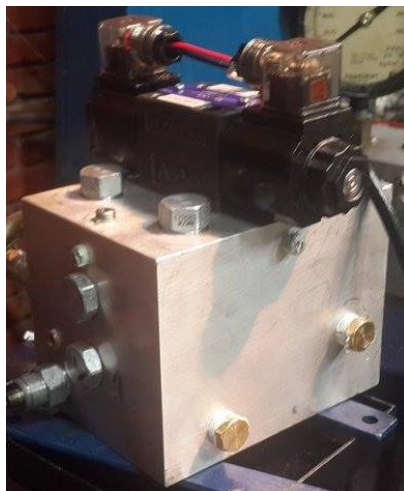
6. MONTAJE

Para realizar el proceso de ensamblado y montaje del manifold se necesitan los siguientes componentes:

- 7 Tapones de 1/8 NPT.
- 3 Tapones de 3/8 NPT.
- 2 Racores con conectores rápidos
- 2 Racores con acople fijo
- 4 válvulas de cartucho, elemento lógico.
- 2 válvulas de cartucho, antirretorno.
- 1 válvula de cartucho, contrabalance.
- 1 válvula direccional cetop 3.
- 2 Mangueras de media pulgada.

Teniendo todos los componentes se procede a insertarlos e instalarlos en el bloque de duraluminio en sus respectivas cavidades como se evidencia en la figura.

Figura 68. Manifold ensamblado



Al completar el ensamblaje del manifold se procede en la instalación de este en el banco de “La Pluma” como se observa en la siguiente figura.

Figura 69. Manifold instalado en el banco de “La Pluma”



Figura 70. Montaje completo en el banco



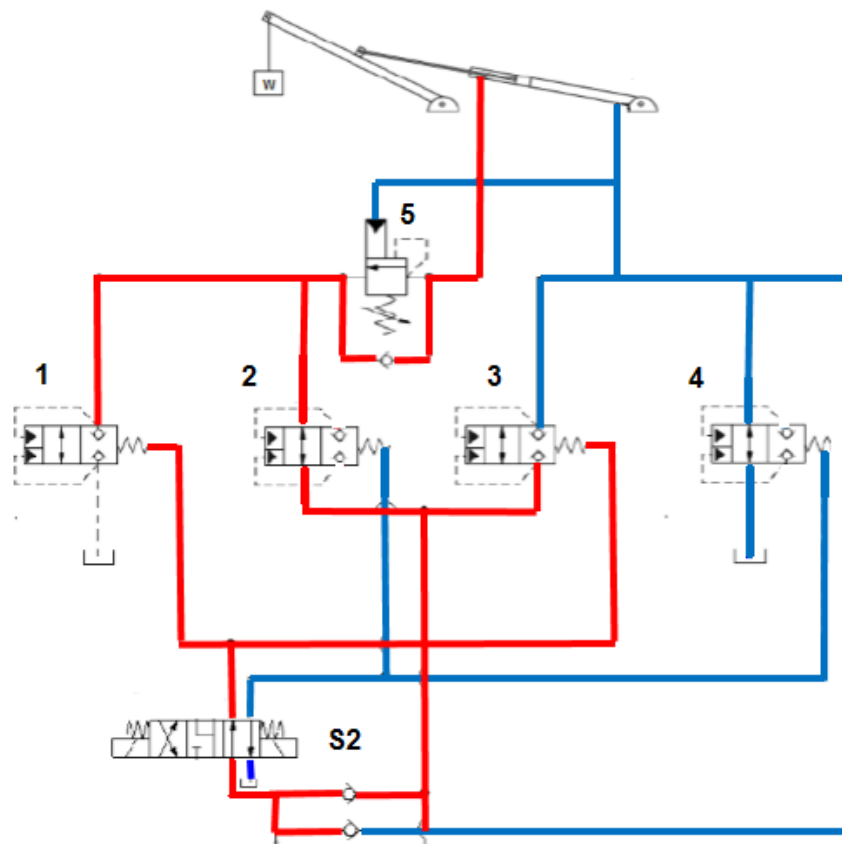
7. PRUEBAS

En este capítulo se describen las diferentes pruebas realizadas en el banco de “La Pluma” para verificar el buen funcionamiento del manifold.

7.1. ELEVANDO LA CARGA

Para realizar el levantamiento de la carga, se dispone a utilizar el control de mando que a su vez energiza el solenoide S2 de la válvula direccional Cetop 3, generando el movimiento del fluido dentro del manifold como se evidencia en la siguiente figura:

Figura 71. Circuito hidráulico elevando la carga



En la figura 71 se observa que las válvulas de cartucho 1 y 3 se encuentran cerradas, la válvula 2 se encuentra abierta y permite el paso del fluido hacia la salida del cilindro el cual eleva la carga. La válvula 4 también está abierta permitiendo que el fluido que se encuentra en el cilindro por la entrada pueda salir y dirigirse al tanque.

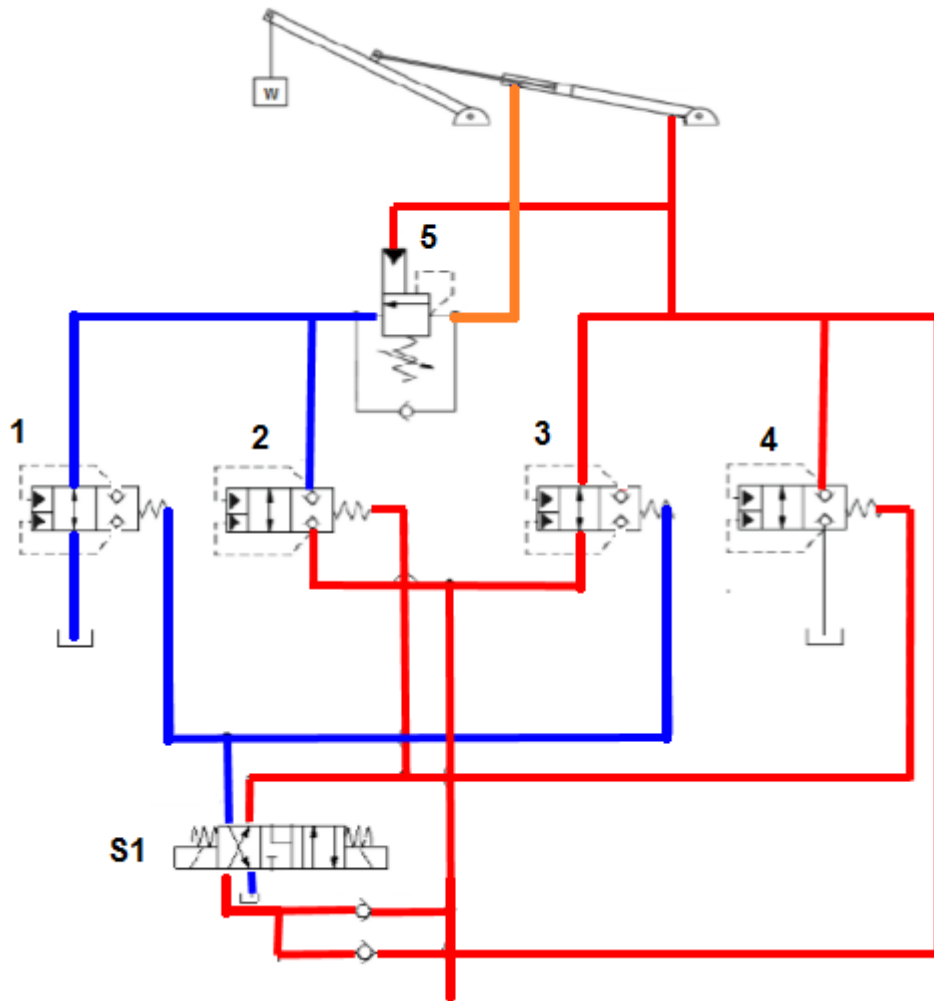
Se obtuvieron los siguientes parámetros de funcionamiento en el banco:

- Presión de operación 1000 psi.
- Velocidad de ascenso aproximada de 32 cm/s.

7.2. DESCENSO DE LA CARGA

Para realizar este procedimiento se procede a energizar el solenoide S1 en el mando de control, encaminando el fluido dentro del manifold como se evidencia en la siguiente ilustración.

Figura 72. Circuito hidráulico bajando la carga



Al energizar el solenoide 2, las válvulas 2 y 4 permanecen cerradas y la válvula 3 se encuentra abierta permitiendo el paso del fluido por la entrada del cilindro lo cual hace que este se extienda ocasionando el descenso de la carga.

La válvula 5 se abre debido al pilotaje externo e interno los cuales se encuentran presurizados y vencen al resorte, permitiendo la salida controlada del fluido del lado vástago del cilindro controlando la velocidad de descenso de la carga. La válvula 1 se abre permitiendo el paso del fluido de la válvula 5 hacia el tanque.

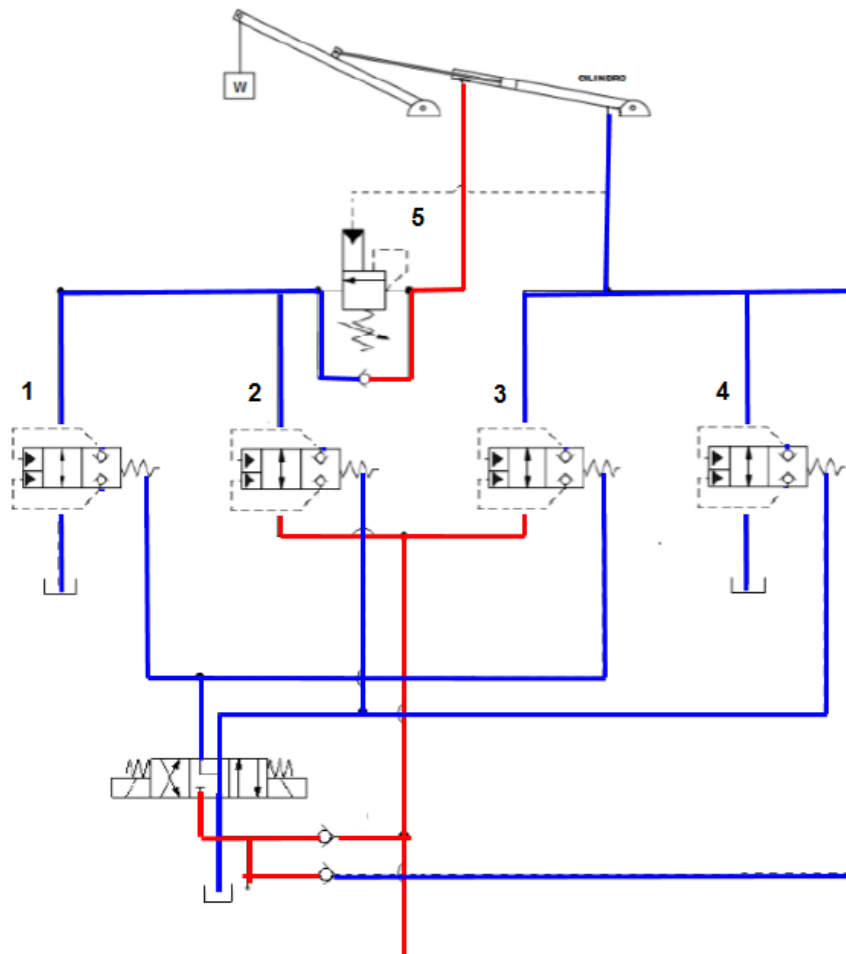
Se obtuvieron los siguientes parámetros de funcionamiento en el banco:

- Presión de operación de 600 psi.
- Velocidad de descenso aproximada de 23 cm/s.

7.3. CARGA SUSPENDIDA

Al momento de no energizar ninguno de los dos solenoides la válvula Cetop 3 se ubica en su posición central cerrando las válvulas de cartucho como se evidencia en la siguiente figura.

Figura 73. Circuito hidráulico sosteniendo la carga



Las cuatro válvulas direccionales (1, 2, 3, 4) se encuentran abiertas, ya que ninguna en sus puertos de pilotaje tiene presión debido al tipo de centro de la válvula direccional. La válvula de frenado se encarga de realizar el sostenimiento de la carga debido a que la presión que ejerce la carga suspendida no es suficiente para superar el taraje del resorte. El pilotaje externo no presenta una presión significativa para ayudar a la apertura de la válvula de frenado por lo tanto la carga se mantendrá en su posición.

8. COSTO DEL PROYECTO

El costo para llevar a cabo el desarrollo del proyecto de grado se describe en la siguiente figura.

Figura 74. Costo detallado del proyecto

DESCRIPCION	VALOR
PAPELERIA	\$ 100,000
MANIFOLD	\$ 1,542,000
VALVULA DE FRENADO	\$ 250,000
TAPONES Y RACORES	\$ 20,000
ACOPLES RAPIDOS	\$ 40,000
OTROS	\$ 20,000
TOTAL	\$ 1,972,000

9. CONCLUSIONES

- Como se observa en el transcurso del proyecto se logró desarrollar un diseño detallado y preciso del manifold en cuanto a material, dimensiones y distribución de los diferentes elementos que lo conforman, teniendo en cuenta las diferentes recomendaciones. También cabe resaltar que hidráulicamente hablando se obtuvo un diseño eficiente el cual cumple a cabalidad con los requerimientos establecidos.
- Se concluye que al llevar a cabo la construcción y el ensamble de los diferentes elementos que conforman el manifold, se obtiene como resultado una válvula direccional tipo cartucho con la capacidad de elevar, descender, sostener y realizar el frenado de la carga suspendida de una manera eficiente. El laboratorio de potencia fluida en el banco de “La Pluma” queda dotado con un mecanismo de tecnología avanzada que complementara el aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Mecánica.
- El resultado obtenido en la búsqueda de desarrollar este proyecto de grado, el cual tenía como objetivo construir un manifold que permitiera control total de la carga suspendida en el banco de “La Pluma” principalmente para realizar el frenado del elemento colgante para evitar el balanceo y las sobrepresiones que este movimiento genera, se cumplió a cabalidad como lo muestran los resultados obtenidos en las diferentes pruebas que se realizaron.

- Se utilizaron los paquetes de software CAD y CAE (Solidworks 2015) como herramientas para llevar a cabo el análisis de flujo interno y determinar el comportamiento del fluido mientras se encuentra en operación. Además se realizó el estudio de esfuerzos y deformaciones del material por consecuencia de las altas presiones del fluido, permitiendo así el diseño óptimo del manifold.
- Finalmente se hace entrega del manual de operaciones del banco de “La Pluma” haciendo uso de la válvula direccional tipo cartucho con sostenimiento y frenado incluido para controlar la carga suspendida, en el cual se detalla el procedimiento que se debe llevar a cabo para utilizar de manera eficiente y segura el manifold.
- Se hace necesario mencionar que el proyecto no es viable financieramente ya que las válvulas de cartucho son eficientes al manejar grandes caudales y en este caso se trabaja con caudales muy bajos, por lo tanto no es viable para la industria bajo estas condiciones, pero es importante resaltar que el desarrollo del proyecto es con fines académicos por esto se avaló la culminación de este.

BIBLIOGRAFIA

HAMROCK, Bernand J. SCHMID, Steven R. SCHMID, Bo O. Elementos de Máquinas. 2 ed. México: McGraw Hill, 2000.

POTER, Merle. Y WIGGERT, David C. Mecánica de Fluidos. 2 ed. México: Prentice Hall, 1998.

RODRIGUEZ CARVAJAL, Edwin Hernan y LARROTA, Fabián Andrés. Diseño y construcción de un manifold tipo cartucho para complementar las prácticas en el banco de la pluma. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas. Escuela Ingeniería Mecánica. 2014.

Sun Hydraulics Corporation

<http://www.sunhydraulics.com/models/cartridges>

SANCHEZ NUÑEZ, Oscar Javier y GRIMALDOS RAMIREZ, Diego Andrés. Diseño y construcción de un manifold para la comparación de las diferentes opciones de control de una carga desbocable segunda fase. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2013.

VICKERS, MANUAL DE OLEOHIDRAULICA INDUSTRIAL. Barcelona: Blume.